

Universität Zürich
Zentrum für Zahnmedizin
Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Martin Rücker

Arbeit unter Leitung von KD Dr. med. Dr. med. dent. Michael Locher

Die Kieferhöhle in der digitalen Volumentomographie: Eine retrospektive Studie über das Volumen des Sinus maxillaris

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Kristina Laura Noëmi Zink

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Martin Rücker
Zürich 2016

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	3
2. Einleitung	5
2.1 Die Kieferhöhle – Anatomische Grundlagen.....	5
2.2 Bildgebungsverfahren.....	7
3. Wissenschaftliche Fragestellung	8
3.1 Arbeitshypothesen.....	9
4. Materialien und Methoden	10
4.1 Röntgensystem und Software.....	10
4.2 Volumenmessungen der Kieferhöhle.....	12
4.3 Messung des Durchmessers des Ostium naturale des Sinus maxillaris	18
4.4 Messung der Nasenseptumdeviation	19
4.5 Bestimmung der Anzahl Wurzeleinheiten der Patienten	20
4.6 Symmetriegrad bestimmen	21
4.7 Statistische Methoden	22
5. Resultate.....	24
5.1 Geschlechts- und Altersverteilung.....	24
5.2 Volumenmessungen der Kieferhöhle.....	25
5.2.1 Volumen der Kieferhöhle	25
5.2.2 Symmetriegrad des rechten und des linken Kieferhöhlenvolumens	26
5.2.3 Kieferhöhlenvolumen und Alter	26
5.2.4 Kieferhöhlenvolumen und Geschlecht.....	27
5.2.5 Kieferhöhlenvolumen und Anzahl Wurzeleinheiten.....	28
5.2.6 Kieferhöhlenvolumen und Durchmesser des Ostium naturale.....	30
5.2.7 Kieferhöhlenvolumen und Nasenseptumdeviation	31
6. Diskussion.....	34
6.1 Volumen der Kieferhöhle	34
6.2 Symmetriegrad des rechten und linken Kieferhöhlenvolumens.....	35
6.3 Kieferhöhlenvolumen und Alter	35
6.4 Kieferhöhlenvolumen und Geschlecht	39
6.5 Kieferhöhlenvolumen und Anzahl Wurzeleinheiten.....	40
6.6 Kieferhöhlenvolumen und Durchmesser des Ostium naturale.....	43
6.7 Kieferhöhlenvolumen und Nasenseptumdeviation	44
6.8 Schlusswort.....	46
7. Literaturverzeichnis.....	47
8. Verdankungen	50
9. Curriculum Vitae.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

1. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser retrospektiven Studie wurden 55 DVT- Datensätze (30 Frauen und 25 Männer, Durchschnittsalter 46.3 Jahre), welche an der Universität Zürich, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Oralchirurgie im Zentrum für Zahnmedizin (ZZM) zwischen April 2008 und August 2009 erstellt wurden, untersucht. Ziel der Untersuchung war es, das durchschnittliche Kieferhöhlenvolumen zu bestimmen und den Einfluss verschiedener Parameter auf das Kieferhöhlenvolumen zu untersuchen. Die radiologischen Untersuchungen wurden mit Hilfe der eXam Vision Software (Kavo) und der iPlan Software (Brain LAB AG) durchgeführt. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit „PASW Statistics“ Version 18.0.0 (SPSS Inc., Chicago, USA).

Insgesamt wurde das Kieferhöhlenvolumen von 108 Kieferhöhlen bestimmt (54 rechte, 54 linke). Das durchschnittliche Kieferhöhlenvolumen betrug 15 cm^3 (Min. 3.8 cm^3 , Max. 33.6 cm^3).

Es konnte eine Korrelation zwischen dem linken und rechten Kieferhöhlenvolumen festgestellt werden. Das Volumen des Sinus maxillaris zeigte keine signifikanten Unterschiede bezüglich Geschlecht oder Alter.

Die vorhandene Dentition scheint einen Einfluss auf das Kieferhöhlenvolumen zu haben, denn die vorliegenden Untersuchungen zeigten in einer Untergruppe (Az Wurzeln li+KH-Vol li bei Frauen vgl. Tabelle 4, Kapitel 5.2.5) einen signifikanten positiven linearen Zusammenhang zwischen dem Kieferhöhlenvolumen und der Anzahl Wurzeleinheiten auf der entsprechenden Seite im Oberkiefer.

Der Durchmesser des Ostium naturale im DVT der Kieferhöhle rechts betrug 1.9 mm (SD 0.7 mm , Min. 0.9 mm , Max. 5.1 mm) und links 1.9 mm (SD 0.7 mm , Min. 1.0 mm , Max. 4.1 mm). In einer von vier Untersuchungsgruppen zeigte sich ein signifikant positiver linearer Zusammenhang zwischen dem Durchmesser des Ostium naturale und dem Kieferhöhlenvolumen auf der entsprechenden Seite. Es kann auf Grund der erhaltenen Untersuchungsergebnisse nicht davon ausgegangen werden, dass ein grösserer Ostiumdurchmesser mit einem grösseren Kieferhöhlenvolumen einhergeht.

Im Rahmen dieser Studie konnte keine statistisch signifikanten Differenzen im Volumen der Kieferhöhlen auf der konvexen und der konkaven Seite der Nasenseptumdeviation festgestellt werden, so dass eine Nasenseptumdeviation nur einen geringen oder gar keinen Einfluss auf das Volumen des Sinus maxillaris hat.

Einige in der Arbeit verwendete Abkürzungen

3D - Dreidimensional

CT - Computertomographie

DICOM - Digital Imaging and Communication in Medicine, (Dateiformat zur digitale Bilddarstellung und Bildübertragung)

DVT - Digitale Volumetomographie

KH - Kieferhöhle

MPR- Multi Planare Rekonstruktion (eine Ansicht im eXam Vision Programm)

OPT - Orthopantomogramm

SD - Standard Deviation (Standardabweichung)

Vol - Volumen

2. Einleitung

2.1 Die Kieferhöhle – Anatomische Grundlagen

Der Sinus maxillaris liegt im Corpus maxillae und hat die Form einer vierseitigen Pyramide. Die Basis dieser Pyramide bildet die laterale Nasenhöhlenwand und die Spitze liegt im Corpus ossis zygomaticus. Den Boden der Kieferhöhle bildet der Recessus alveolaris. Nach kranial grenzt die Kieferhöhle an die Orbita. Durch die ventralen Anteile der knöchernen Begrenzung der Kieferhöhle wird die Gesichtsfläche des Oberkiefers gebildet. Das Ostium naturale des Sinus maxillaris liegt an der medialen Sinuswand, in der Regel im obersten Viertel und führt in das Infundibulum ethmoidale. Die Ausdehnung der Kieferhöhle ist sehr variabel (Johannes 1988; Chanavaz 1990; Smiler, Johnson et al. 1992; Arij, Kuroki et al. 1994; Solar, Aro et al. 1998; Bernhart, Ulm et al. 1999; Hauman, Chandler et al. 2002; Dargaud, Cotton et al. 2003; Sharan and Madjar 2006).

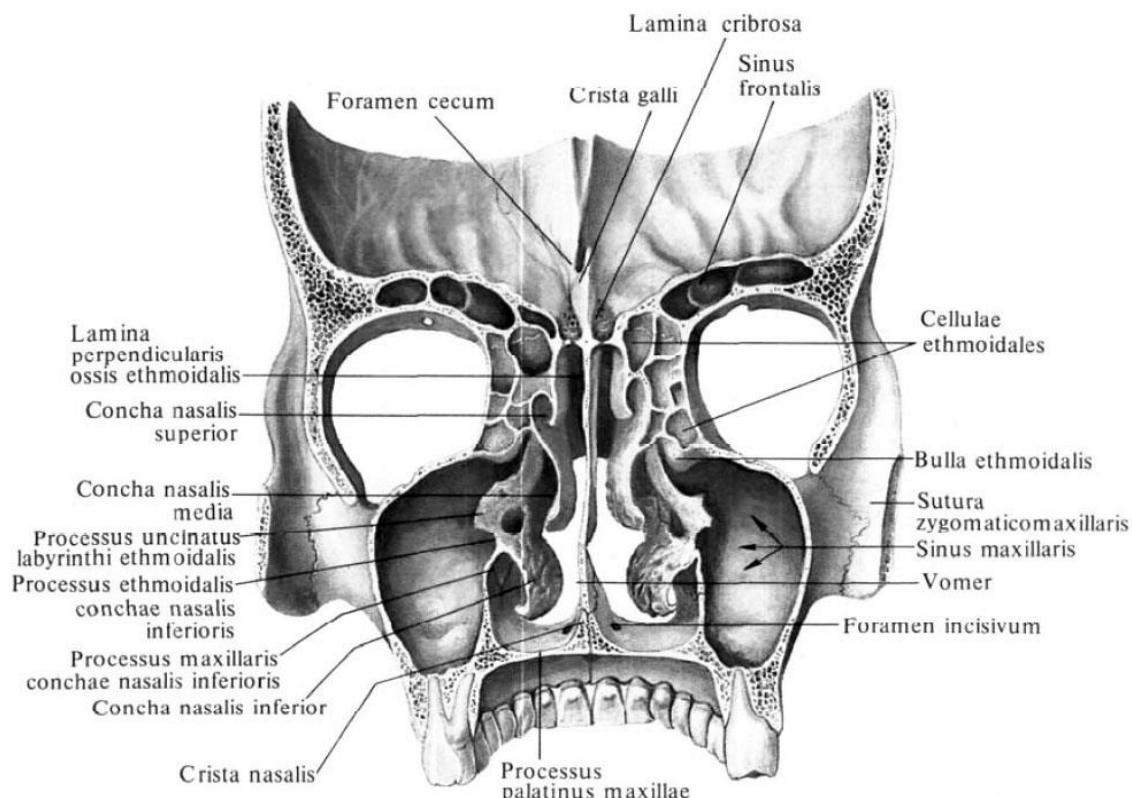


Abbildung 1: Anatomie der Kieferhöhle und der umliegenden knöchernen Strukturen in koronaler Ansicht (Quelle:<http://spina.pro/anatomy/kosti/kosti-golovy/topografija-cherepa/polost-nosa.php>)

Das Ostium naturale, das Infundibulum ethmoidale und der Hiatus semilunaris sind die Abflusswege für das Sekret aus der Kieferhöhle in Richtung des mittleren Meatus der entsprechenden Nasenhöhle. Die Durchgängigkeit dieser Öffnungen ist ein entscheidender Faktor, um die normale Sinusphysiologie aufrecht zu erhalten. Das Ostium naturale des Sinus maxillaris ist meist von ovaler Form (7-11 mm lang und 2-6 mm breit), aber es kann auch rund oder nierenförmig ausgebildet sein. Das Ostium naturale öffnet sich nicht direkt in die Nasenhöhle, aber es kommuniziert mit ihr via einer vom Ethmoid geformten schmalen Vorkammer: dem Infundibulum, einer engen Höhle in der lateralen Nasenwand. Das Infundibulum öffnet sich über den Hiatus semilunaris in den mittleren Nasengang der entsprechenden Nasenhöhle (Lang 1988; Testori, Del Fabbro et al. 2009).

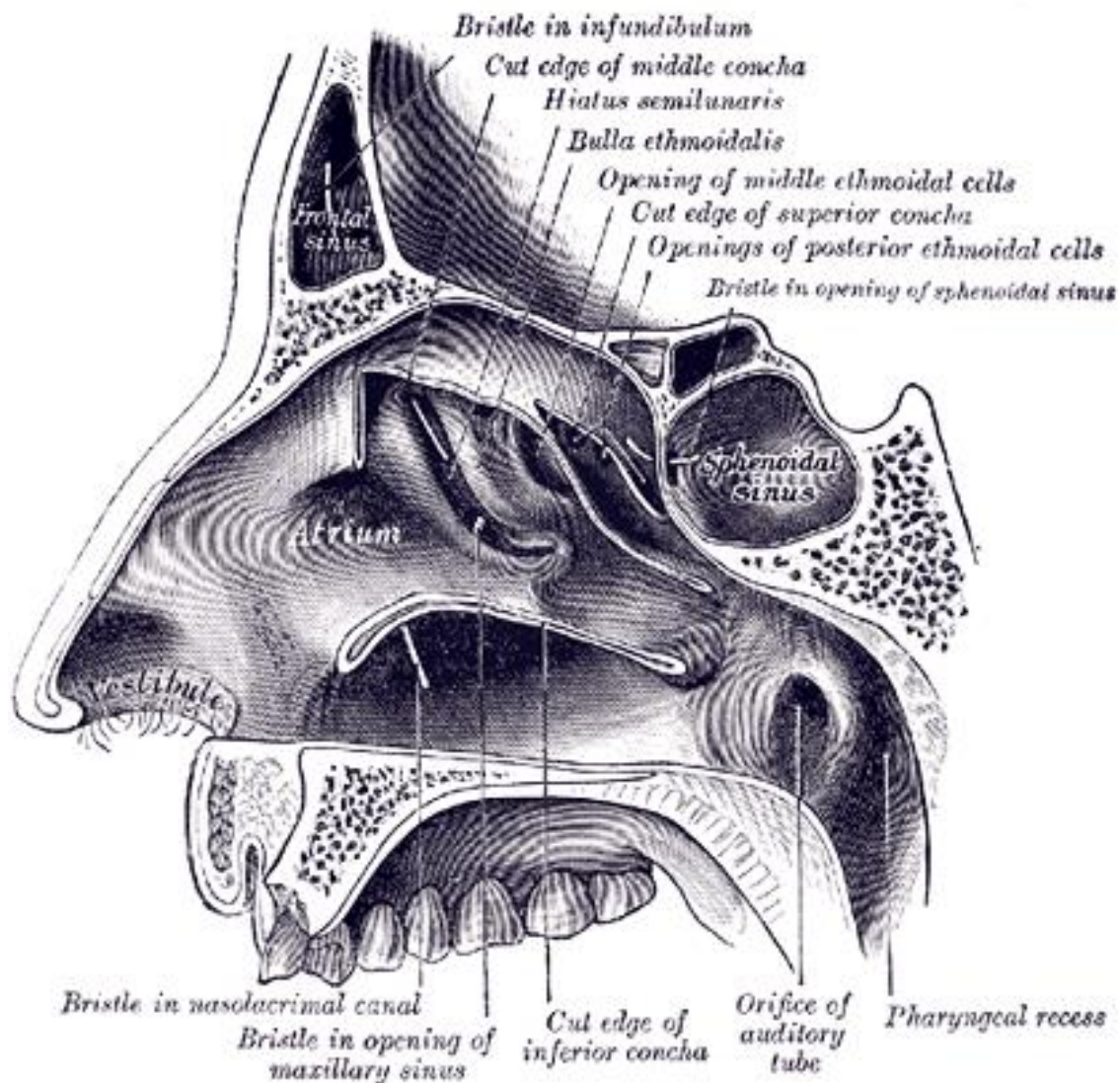


Abbildung 2: Sagittalschnitt durch die Nasenhöhle mit Aufsicht auf die laterale Nasenwand und den mittleren Meatus.

(Quelle:http://www.theodora.com/anatomy/the_organ_of_smell.html)

2.2 Bildgebungsverfahren

Bisherige Vergleichsstudien zeigen deutlich die Grenzen des OPT und die Überlegenheit des CT bei der Beurteilung topographischer Beziehungen zwischen Zahnwurzeln und Kieferhöhle (Freisfeld, Drescher et al. 1993; Sharan and Madjar 2006). In verschiedensten Studien wird das CT als Goldstandard zur Beurteilung den Nasennebenhöhlen genannt (Ulm, Solar et al. 1995; Hauman, Chandler et al. 2002; Kim, Yoon et al. 2003; Fernandes 2004; Teke, Duran et al. 2007). Aus diesem Grund wurden bisherige Arbeiten (Ariji, Kuroki et al. 1994; Jun, Song et al. 2005) zur Untersuchung des Sinus maxillaris und der umgebenden Strukturen mit CT-Messungen durchgeführt.

Auch diese Studie bedient sich für die Vermessung der Kieferhöhlen-Dimensionen eines dreidimensionalen bildgebenden Verfahren, nämlich der sogenannten DVT-Methode (Digitale Volumen Tomographie). Gemäss der aktuellen Literatur liegt die Strahlenbelastung eines digitalen Volumentomogramms (DVT) deutlich unter derjenigen eines Computertomogramms (CT). Mozzo et al. (Mozzo, Procacci et al. 1998) verglichen die Strahlenmenge einer DVT mit der einer CT und massen bei der DVT eine bis zu sechsmal niedrigere Strahlendosis als bei der CT. Ferner behaupteten die Autoren, dass aufgrund der Erfassung des aufzunehmenden Bereichs mit Hilfe eines kegelförmigen Strahlenbündels die Qualität der Darstellung in der DVT im Vergleich zu der CT deutlich besser sei. Auch Cohen et al. (Cohnen, Kemper et al. 2002) gaben für die effektive Strahlendosis der DVTs gegenüber dentalen CTs eine Reduktion der Strahlenbelastung um 80% an. Ziegler et al (Ziegler, Woertche et al. 2002) wiesen auf die tieferen Kosten der DVT-Technik gegenüber der CT-Bildgebung hin. Es muss bei diesen Angaben aus der Literatur aber auch berücksichtigt werden, dass sowohl beim CT als auch beim DVT viele unterschiedliche Geräte auf dem Markt sind.

Nachteile der DVT ergeben sich aus der verlängerten Untersuchungszeit und der daraus resultierenden Anfälligkeit für Bewegungsartefakte und aus einer deutlich schlechteren Darstellungsmöglichkeit von Weichteilstrukturen.

Eine weitere Möglichkeit, das Volumen der Kieferhöhle zu messen, bietet die Arbeit an menschlichen Schädeln von Verstorbenen. Diese Methode wurde in vereinzelt Studien angewandt (Uchida, Goto et al. 1998; Fernandes 2004), aber Ikeda und Jun (Ikeda, Ikeda et al. 1998; Jun, Song et al. 2005) zeigten in ihren Studien deutlich die Nachteile von Volumenmessungen der Kieferhöhle an Schädeln gegenüber dem CT-Messverfahren auf. Als Nachteile wurden unter anderem die Ungenauigkeit der Angaben zum Alter, das Fehlen des Weichgewebes, vor allem der kieferhöhlenauskleidenden Mukosa, und die zeitlich bedingten Veränderungen genannt, die zu einer Verfälschung der Volumenmessungen der Kieferhöhle führen können.

3. Wissenschaftliche Fragestellung

3.1 Arbeitshypothesen

Nach umfangreichen Literaturrecherchen stellten wir folgende sechs Arbeitshypothesen für diese Studie auf:

1. Kein Seitenunterschied im Kieferhöhlenvolumen rechts und links
2. Lebenslanges Wachstum der Kieferhöhle → Volumenzunahme mit dem Alter
3. Grösseres Kieferhöhlenvolumen bei Männern als bei Frauen
4. Zunahme des Kieferhöhlenvolumens mit abnehmender Anzahl Wurzeleinheiten im Oberkieferseitenzahnbereich
5. Bei kleinem Durchmesser des Ostium naturale → geringeres Volumen des Sinus maxillaris
6. Grösseres Kieferhöhlenvolumen auf der konkaven Seite der Nasenseptumdeviation.

4. Materialien und Methoden

Diese retrospektive Studie basiert auf 55 DVT-Bildern (Digitale Volumentomographie), welche bei Untersuchungen des Zentrums für Zahnmedizin der Universität Zürich, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Oralchirurgie zwischen 1. April 2008 und 31. August 2009 erstellt wurden. Die Bilder wurden auf der Basis von folgenden Kriterien ausgewählt:

- DVT wurde durch die Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Oralchirurgie initiiert
- Oberkiefer wurde in der DVT vollständig gescannt.
- Jeweils mindestens eine gesamte Kieferhöhle auf der DVT-Bilddatei klar erkennbar.
- Es wurden sämtliche verfügbaren Bilder mit abgebildeten Kieferhöhlen ausgewertet, auf welchen die knöcherne Begrenzung der Kieferhöhle klar erkennbar war.
- Die DVT-Datensätze, auf welchen die knöchernen Begrenzungen beider Kieferhöhlen nicht klar zu erkennen waren, wurden von der Studie ausgeschlossen. Gegebenenfalls wurde auch nur eine Kieferhöhle in die Studie einbezogen.
- Für die Messung des Ostium naturale der Kieferhöhle wurden nur DVT-Datensätze verwendet, auf welchen die knöcherne Begrenzung von mindestens einem Ostium naturale klar erkennbar war.

Zwischen dem 1. April 2008 - 31. August 2009 wurden 1352 DVT's angefertigt. Hiervon wurden 309 DVT's durch die Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Oralchirurgie initiiert. 55 dieser 309 DVT-Datensätze erfüllte die Einschlusskriterien.

4.1 Röntgensystem und Software

In der Dento-Maxillofazialen Radiologie der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Oralchirurgie des Zentrums für Zahnmedizin der Universität Zürich werden alle DVT-Bilder mit einem KaVo 3D eXam Cone-Beam-Röntgensystem bei einer Strahlenbelastung von 90 - 120 kVp und 3 – 8 mAs erstellt. Unter- und Oberkiefer werden parallel zur Frankfurter Horizontalen in dicht aufeinander folgenden axialen Schnitten, mit einer Schichtdicke von 2 mm dargestellt. Der Gerätehersteller gibt die maximal erreichbare

Hochkontrastaufklärung mit 0,125 mm an. Durch die Bewegung des Patientenstuhls wird die zu untersuchende Region in den drei Raumachsen eingestellt. Der Aufnahmearm trägt den Strahler und den Sensor. Der Aufnahmearm dreht sich während der Aufnahme einmal 360 ° um den Kopf des Patienten. Die Ausbreitung der Röntgenstrahlen erfolgt pyramidenförmig. Nach Anfertigung der Aufnahme können am Computer in der eXam Vision Software innerhalb dieses Datenzyinders drei zueinander orthogonale Untersuchungsebenen frei festgelegt und Messungen direkt am Bildschirm vorgenommen werden. Das System wird vom technischen Dienst des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Zürich einmal monatlich kalibriert.

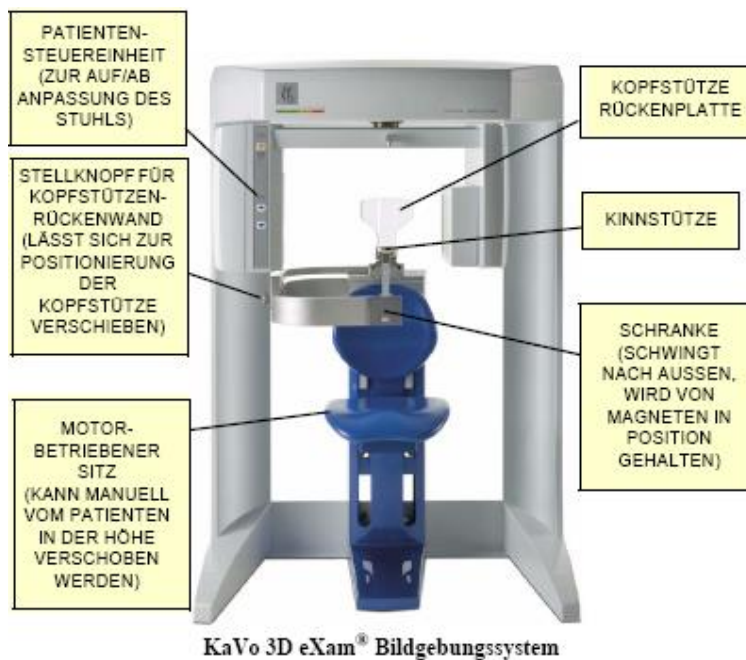


Abbildung 3: KaVo 3D eXam Cone-Beam-Röntgensystem (Quelle: Kavo Dental GmbH)

KaVo 3D eXam Spezifikationen

- Röntgenquelle: Hochfrequenz, konstantes Potential, 90 – 120 kVp, 3 – 8 mA (gepulst)
- Strahlprofil: Cone-Beam
- Fokus: 0,5 mm
- Bilddetektor: amorpher Silizium-Flat-Panel-Detektor, 20 cm x 25 cm
- Graustufen: 14 bit
- Bilderfassung: einfache 360° Rotation
- Scan-Zeit: 8,5 Sekunden Standard
- Primäre Rekonstruktion: unter 1 Minute für einen Standard-Scan
- Sekundäre Rekonstruktion: in Echtzeit

Aufnahmemodi

Modus	Aufnahmevolumen	Scangeschwindigkeit	Voxelgrösse
Standard	16 cm Ø x 13 cm	8.5 s	0.4 mm oder 0.3 mm
High Resolution	16 cm Ø x 13 cm	24 s	0.2 mm
Ultra-high Resolution	8 cm Ø x 8 cm	24 s	0.12 mm
Single-Scan TMJ Mode	23 cm Ø x 17 cm	8.5 s	0.4 mm

Tabelle 1: Aufnahmemodi KaVo 3D eXam (Quelle: <http://www.kavo.com/>)

Die Beurteilung und die Auswertungen der DVT-Bilder wurde mit der eXam Vision Software von Kavo am Computer durchgeführt. eXam Vision ist eine Befundungssoftware und wird zur Ansicht und Auswertung von DVT-Datensätzen verwendet, welche mit dem Erfassungscomputer der DVTs aufgenommen wurden.

Da für die Volumenmessungen eine Brain LAB Software (Brain LAB AG) verwendet wurde, mussten die Patientenbilder aus der eXam Vision Befundungssoftware in ein anderes Format konvertiert werden. Mit dem „DICOM-Export“ werden Bilder aus der eXam Vision Software in DICOM Bilder konvertiert. DICOM ist ein Industriestandard für Bilder in der Medizin, welcher zum Austauschen von digitalen Bilddateien zwischen verschiedenen medizinischen Darstellungssystemen dient. An der Planungsstation des Brain LAB Computers werden die ins DICOM-Format umgewandelten DVT-Datensätze eingelesen und mit Hilfe der PatXfer 5.2 Software (Brain LAB AG) aus dem DICOM-Format in das advanced Brain LAB File Format (xBrain) konvertiert und in die iPlan Planungssoftware (Brain LAB AG) importiert.

4.2 Volumenmessungen der Kieferhöhle

Um die Volumenmessungen der Kieferhöhlen durchzuführen, müssen die DVT-Datensätze der Patienten in ein „Advanced Brain LAB File“ Format konvertiert und in die iPlan Planungssoftware eingelesen werden. In der iPlan ENT 2.6 Software wird der radiologische Datensatz des Patienten geladen und im Navigator der Software wird mit der „object creation“-Taste die Funktion zur Volumenvermessung freigeschaltet und zugleich einer Farbe zugeordnet. Das kreierte Objekt wird je nach Lokalisation „rechts/links“ benannt. Als Nächstes wird in der Ansicht mit acht Schnittbildern (8 Slices) der erste zu vermessende Sinus maxillaris zentriert und herangezoomt. Danach kann mit dem Vermessen begonnen werden.

In der axialen Schnittebene wird mit der „Smart Brush–Funktion“ im ersten und im letzten der acht dargestellten Schnittbildern die knöcherne Innenkontur des Sinus maxillaris strichförmig nachgezogen (in den nachfolgenden Abbildungen (Abbildungen 4-7) als rosa bzw. grüne Linie erkennbar). Für die dazwischen liegenden Schnittbilder markiert das Programm die knöcherne Innenkontur des Sinus maxillaris automatisch. Falls allfällige Ungenauigkeiten beim automatischen Erkennen des Randes vorliegen, werden diese mit Hilfe der „Brush–Funktion“ manuell nachgebessert. Am Ostium naturale wird die engste Stelle als Begrenzung der Kieferhöhle betrachtet. Nachdem alle Schnittbilder einer Kieferhöhle auf diese Weise vermessen sind, berechnet die iPlan ENT 2.6 Software den dreidimensionalen Inhalt der markierten Bereiche und stellt diesen plastisch dar (Abbildungen 4-8). Dieser dreidimensionale Inhalt entspricht dem Volumen der vermessenen Kieferhöhle. Als nächster Schritt wird die Erkennung des knöchernen Randes in der koronalen und in der sagittalen Ebene überprüft und falls notwendig nachkorrigiert. Um das Volumen der gegenüberliegenden Kieferhöhle zu bestimmen, wird mit der „Add New“-Taste ein zweites, andersfarbiges Objekt zum Vermessen freigeschaltet.

Danach wird identisch, wie oben beschrieben, auf der zweiten, gegenüberliegenden Seite vorgegangen, um deren Kieferhöhlenvolumen ebenfalls zu vermessen.

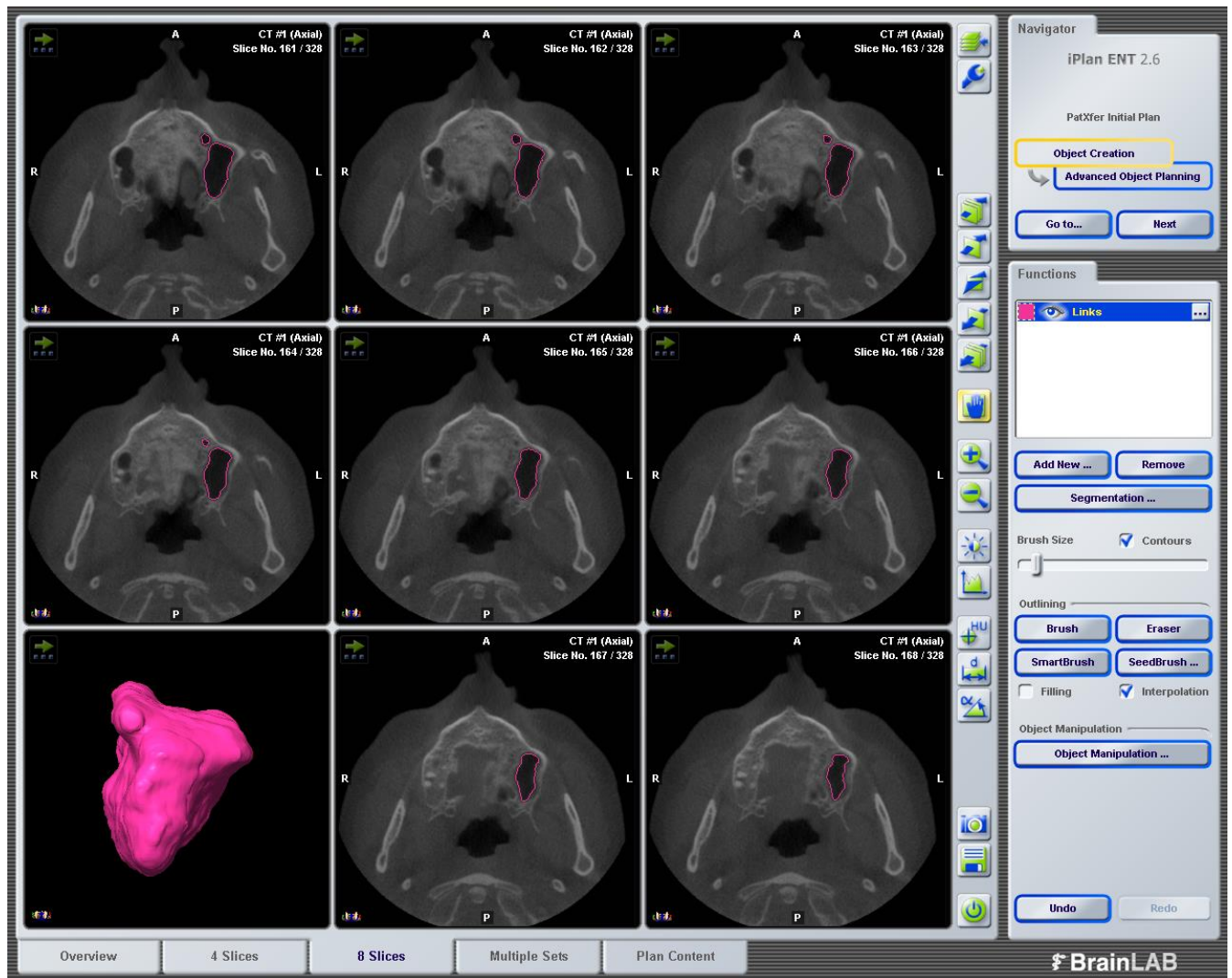


Abbildung 4: iPlan Navigationsfläche, Axialansicht, 8 Schnittbilder. Die knöcherne Innenkontur der linken Kieferhöhle ist rosa markiert und unten links plastisch als Volumen dargestellt.

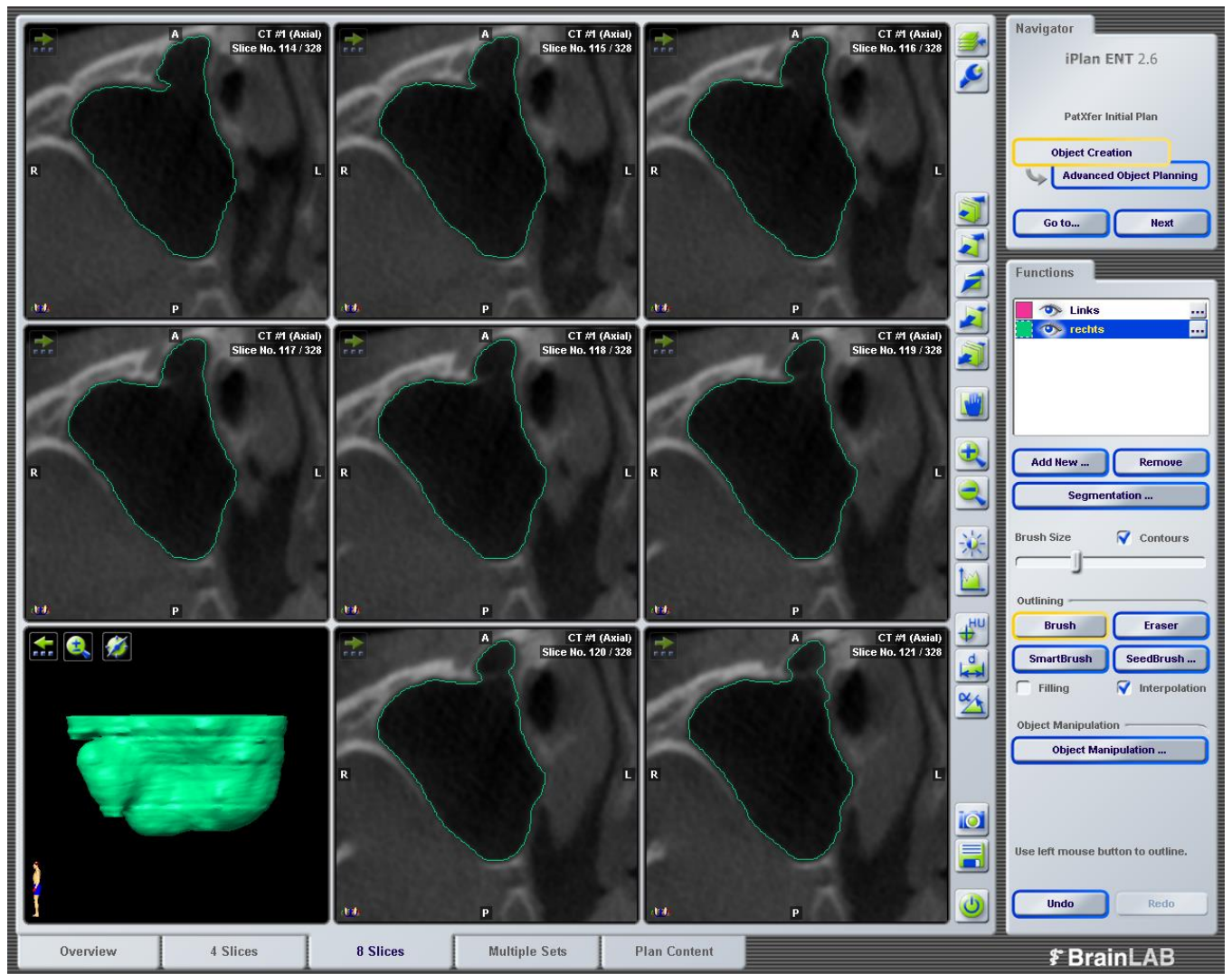


Abbildung 5: iPlan Navigationsfläche, Axialansicht, 8 Schnittbilder. Die knöcherne Innenkontur der rechten Kieferhöhle ist grün markiert und unten links plastisch als Volumen in sagittaler Ansicht teilweise dargestellt.

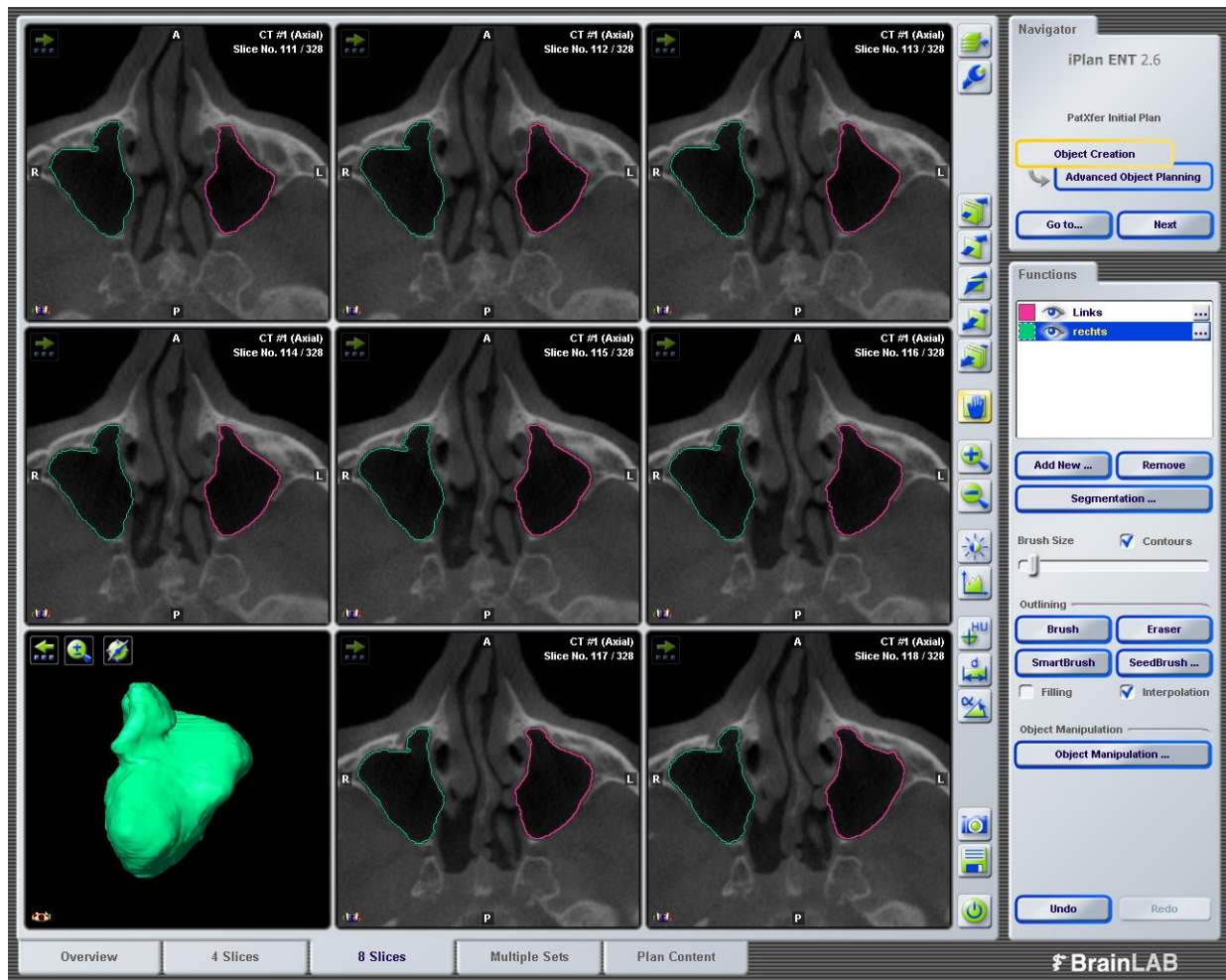


Abbildung 6: iPlan Navigationsfläche, Axialansicht, 8 Schnittbilder. Die knöcherne Innenkontur der linken (rosa markiert) und der rechten (grün markiert) Kieferhöhle und unten links plastische Darstellung des rechten Kieferhöhlenvolumen.

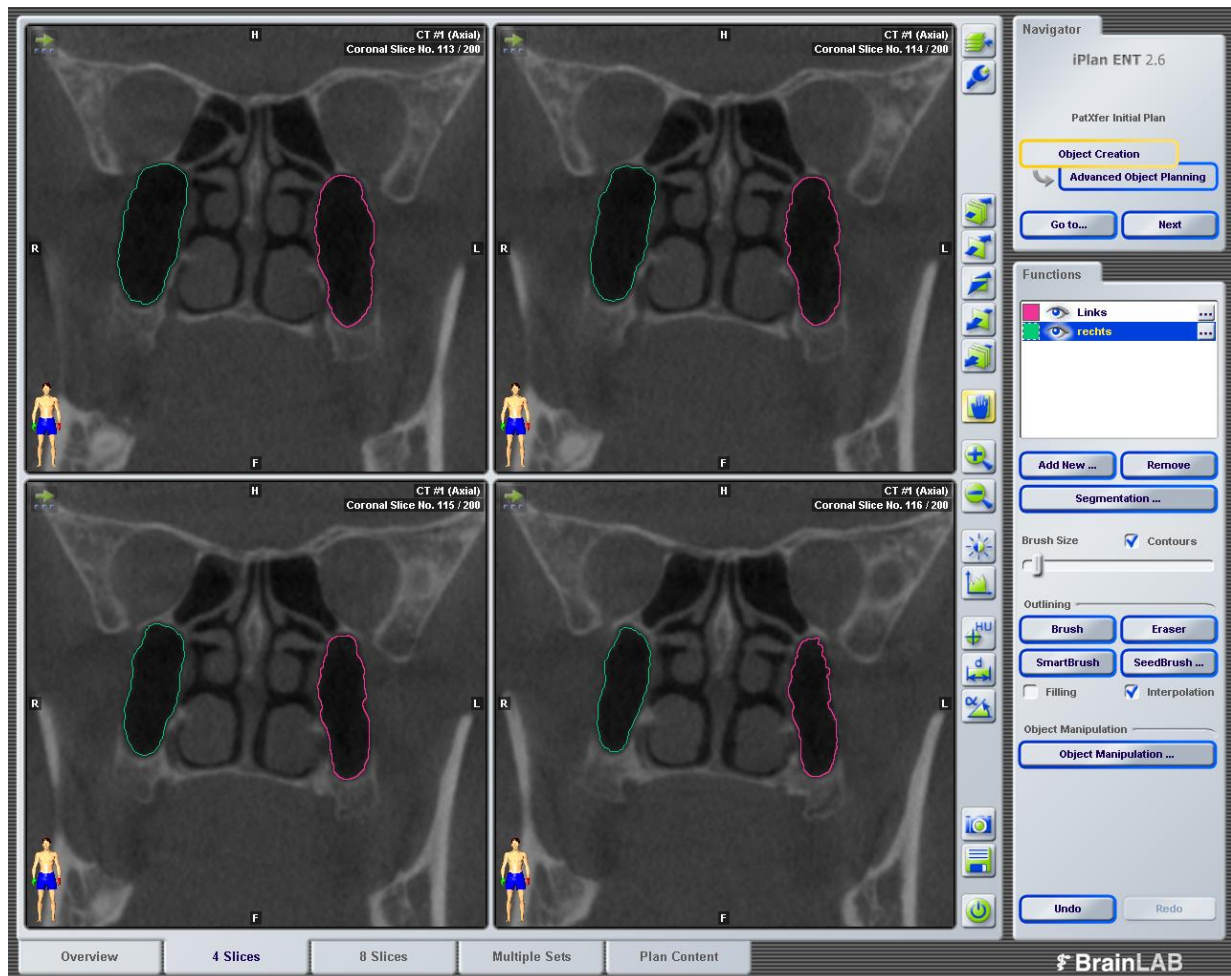


Abbildung 7: iPlan Navigationsfläche, Koronalansicht, 4 Schnittbilder. Die knöcherne Innenkontur der linken (rosa) und der rechten (grün) Kieferhöhle markiert.

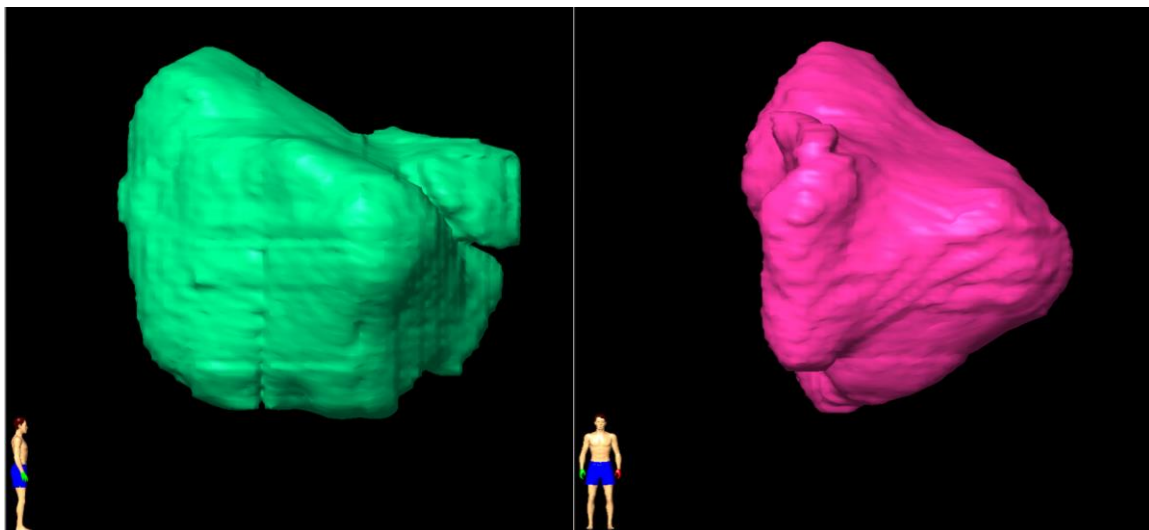


Abbildung 8: Plastische Darstellung zweier verschiedener Kieferhöhlenvolumina aus verschiedenen Ansichten (sagittal, koronal)

4.3 Messung des Durchmessers des Ostium naturale des Sinus maxillaris

Der Durchmesser des Ostium naturale der Kieferhöhle wird im eXam Vision Programm von Kavo gemessen, indem die Patientenaufnahmen geladen und in der „MPR Ansicht“ (Multi Planare Rekonstruktion) über die Menüleiste durch Auswählen der Koronalansicht geöffnet werden. In der „MPR Ansicht“ werden die axiale, koronale und sagittale Schicht gleichzeitig angezeigt. Mit Hilfe der verschiedenen Cursorwerkzeuge aus dem Programm können die Schnittbilder rotiert, der dargestellte Ausschnitt herangezoomt sowie Helligkeit und Kontrast eingestellt werden. Um den optimalen Bildausschnitt für die Messung des Ostiumdurchmessers zu finden, wird in der „MPR Ansicht“ die koronale Sicht ausgewählt und durch die Schichten gescrollt. Auf diese Weise wird der Übergang der Kieferhöhle in das Infundibulum aufgesucht. Bei der engsten Stelle an diesem Punkt handelt es sich um das radiologische Äquivalent des Ostium naturale. Zur linearen Messung des Durchmessers des Ostium naturale wird die Entfernungsfunktion angewählt und die koronalste Stelle am Übergang angeklickt, gehalten und mit der Maus zur basalsten Stelle des Übergangs gezogen, um eine Linie zu zeichnen. Nachdem die Maus wieder losgelassen wird, wird der Messwert in mm angezeigt.

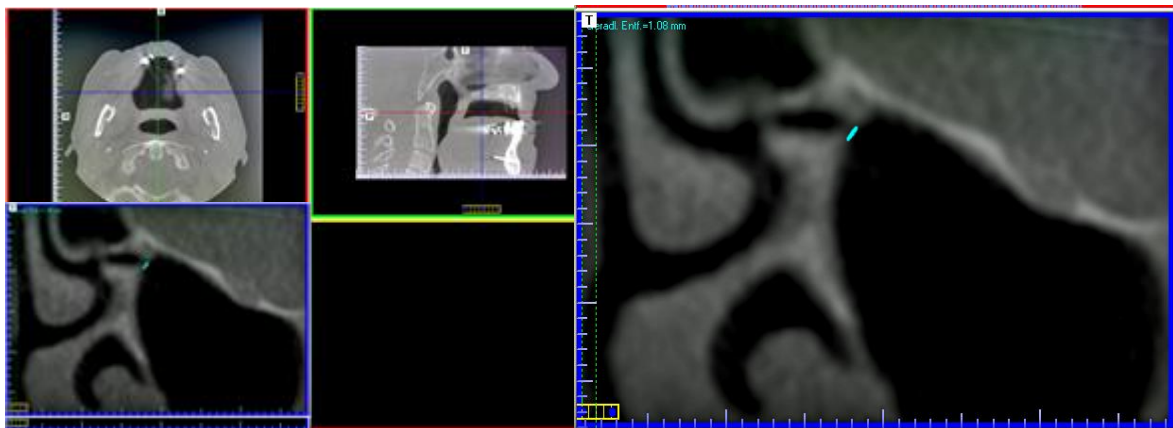


Abbildung 9: eXam Navigationsfläche in der MPR Ansicht rechts und Vergrößerung des koronalen Ausschnittes links. In der koronalen Ansicht kann die Öffnung des Ostium naturale gemessen werden. Das Messresultat wird in Millimetern in der rechten oberen Ecke angezeigt.

4.4 Messung der Nasenseptumdeviation

Der Grad der Nasenseptumdeviation wird indirekt im eXam Vision Programm gemessen. Dazu wird, wie beim Messen des Ostiumdurchmessers, die „MPR Ansicht“ geöffnet und die koronale Sicht ausgewählt. In der Koronalansicht wird das Schnittbild gesucht, auf dem die Strukturen der Kieferhöhlen, des Nasenbodens, des Nasenseptums und der Crista galli am besten erkennbar sind. Mit der Entfernungsmessfunktion werden Orientierungslinien im DVT- Schnitt gezeichnet. Die erste dieser Orientierungslinien wird parallel zum Nasenboden gezogen. Die zweite Orientierungslinie wird von der Spitze der Crista galli zur Spitze an der Basis des knöchernen Septums gezogen. Falls die Crista galli nicht auf der DVT dargestellt ist, wird die zweite Orientierungslinie im rechten Winkel zur Orientierungslinie am Nasenboden, ausgehend von der Basis des knöchernen Septums, nach oben gezogen. Nachdem die Orientierungslinien gezeichnet sind, wird das DVT- Schnittbild ausgedruckt, da im Programm keine Winkelmessungen durchgeführt werden können. Auf dem Ausdruck wird manuell eine dritte Orientierungslinie gezeichnet. Da das Nasenseptum eine gewisse Dicke aufweist, wird diese dritte Orientierungslinie immer von der Mitte der am weitesten nach lateral abweichenden Kurvatur bis hin zur Crista galli gezogen. Als nächster Schritt wird der Winkel zwischen der zweiten und der dritten Orientierungslinie manuell gemessen (Abbildung 10).

Die gemessenen Winkel der Nasenseptumdeviation werden wie folgt in Gruppen eingeteilt:

- Gruppe 1: gerades Nasenseptum (0°)
- Gruppe 2a: Nasenseptumdeviation zwischen $1-8^\circ$, leicht konvex nach rechts
- Gruppe 3a: Nasenseptumdeviation von $>8^\circ$, stark konvex nach rechts
- Gruppe 2b: Nasenseptumdeviation zwischen $1-8^\circ$, leicht konvex nach links
→negatives Vorzeichen
- Gruppe 3b: Nasenseptumdeviation von $>8^\circ$, stark konvex nach links
→negatives Vorzeichen

Das negative Vorzeichen der nach links konvexen Nasenseptumdeviationswinkel und die Einteilung in Gruppen dient lediglich dazu, die statistische Analyse der Daten zu erleichtern.

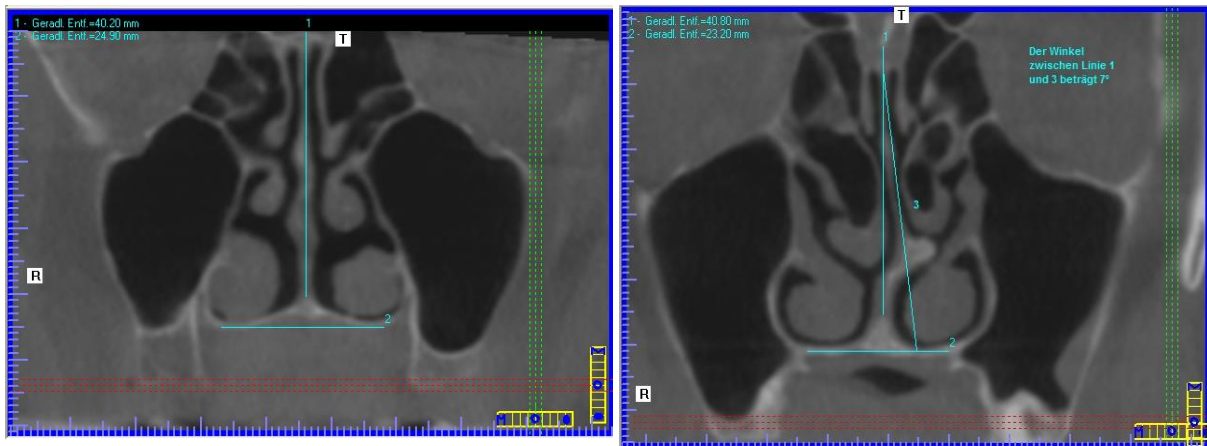


Abbildung 10: eXam Vision Aufnahme in der koronalen Ansicht zur Messung der Nasenseptumdeviation

4.5 Bestimmung der Anzahl Wurzeleinheiten der Patienten

Die Anzahl Wurzeleinheiten eines Patienten wird bestimmt, indem zuerst in der axialen Schicht der „MPR Ansicht“ durch Scrollen ein ideales Schnittbild auf der Wurzelhöhe der Zähne eingestellt wird. Danach wird im 1. Quadranten die Anzahl der Wurzeln im Molarenbereich und im Prämolarenbereich gezählt, was die Anzahl Wurzeleinheiten für die rechte Seite ergibt. Ebenso wird die Anzahl der Wurzeln im 2. Quadranten für die linke Seite bestimmt. Gemäss der Anzahl der bestimmten Wurzeln wird der ermittelte Wert für jede Seite einer sogenannten Wurzelgruppe zugeordnet. Es wurden nur die Molaren und Prämolaren berücksichtigt, da sie in einer engen Lagebeziehung zum Sinus maxillaris stehen.

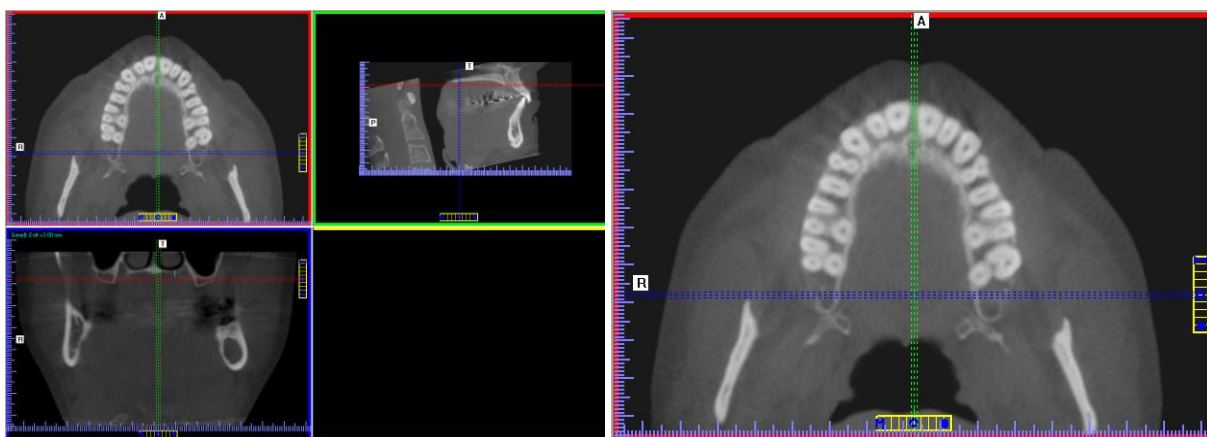


Abbildung 11: eXam Vision Aufnahme in der axialen Ansicht zur Bestimmung der Anzahl

Wurzeleinheiten

In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass ein Weisheitszahn normalerweise 2 Wurzeln hat, die beiden Molaren je 3 Wurzeln haben, der zweite Prämolare 1 Wurzel hat und der erste Prämolare 2 Wurzeln hat. Aufgrund dieser Annahme wurden die folgende Gruppeneinteilung für die Anzahl Wurzeleinheiten pro Quadrant bestimmt:

- Vollbezahnt: > 9 Wurzeleinheiten
- Teilbezahnt: - Grad 1: 7-9 Wurzeleinheiten
 - Grad 2: 4-6 Wurzeleinheiten
 - Grad 3: 0-3 Wurzeleinheiten

Wie der unten stehenden Grafik (Abbildung 12) zu entnehmen ist, war die Gruppe mit 7-9 Wurzeleinheiten in unserer Studie am häufigsten vertreten.

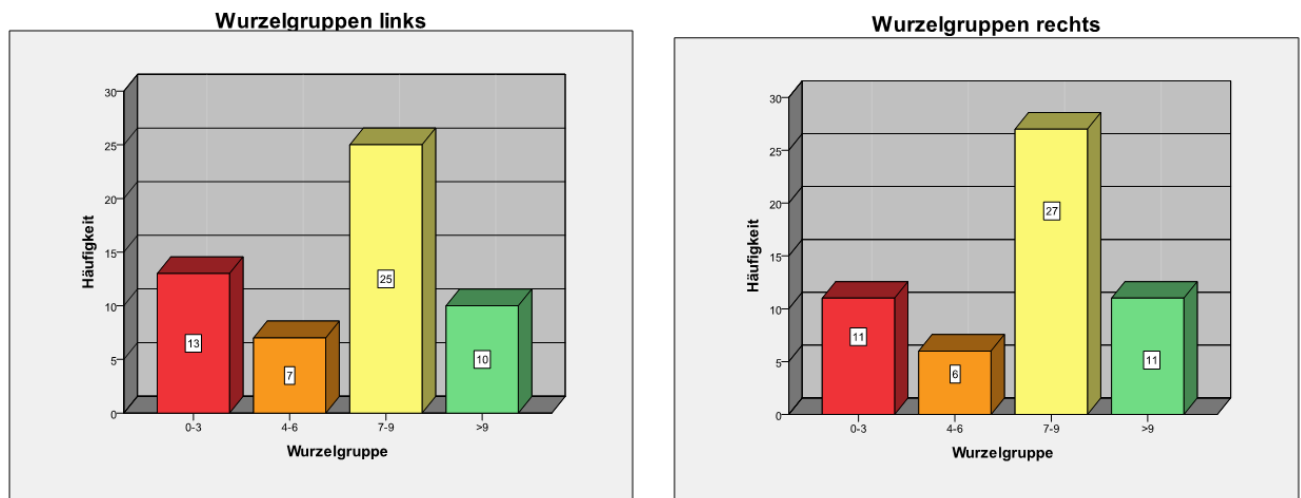


Abbildung 12: Wurzelgruppen (Bezahlungsgrad der Patienten. Häufigkeitsverteilung nach der Anzahl der vorhandenen Wurzeln)

4.6 Symmetriegrad bestimmen

Der Symmetriegrad zwischen dem rechten und linken Sinus maxillaris definiert sich als der Quotient aus der Differenz zwischen dem rechten und linken Kieferhöhlenvolumen und dem grösseren Volumen der beiden Sinus maxillares.

4.7 Statistische Methoden

Während der Datenerfassung wurden alle gemessenen Werte in einer Exceltabelle (Microsoft Office 2007, Redmond, USA) festgehalten. Die statistische Analyse der Messdaten wurde mit „PASW Statistics“ Version 18.0.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) durchgeführt. Die Ergebnisse der Analysen mit einem p-Wert kleiner als 5%, also 0.05, wurden als statistisch signifikant interpretiert.

Die Präzision der Volumenmessung (n=55) wurde mittels einer retrospektiven Poweranalyse ermittelt und beträgt 10%.

Für stetige Parameter, wie Kieferhöhlenvolumen, Alter und Ostiumdurchmesser, wurden deskriptive Statistiken mit Mittelwerten und Standardabweichungen durchgeführt.

Bei diskreten Variablen, also Gruppenvariablen, wie zum Beispiel dem Geschlecht, wurden mit der Bootstraphmethode absolute und relative Häufigkeiten berechnet, und es wurde ein Vertrauensintervall von 95% festgelegt.

Bei einigen in der Studie gemessenen Werten, wie zum Beispiel dem Kieferhöhlenvolumen, interessierten wir uns dafür, ob sich zwischen der linken und der rechten Seite ein Unterschied feststellen lässt. Um dies zu untersuchen, wurden die Differenzen zwischen dem Rechts- und dem Linkswert im Excelprogramm errechnet, und danach im „PASW Statistics“ eine deskriptive Statistik und ein Ein-Stichproben T-Test bei diesen Differenzen durchgeführt. Ein signifikanter Seitenunterschied lag vor, wenn Null nicht im 95% Vertrauensintervall enthalten war, also die Nullhypothese abgelehnt war.

Die Werte wurden für Männer und Frauen separat betrachtet.

➔ Dieses Verfahren entspricht dem gepaarten T-Test.

Mit Hilfe von Punktdiagrammen wurden in dieser Studie Assoziationen zwischen stetigen Variablen, wie Alter, Anzahl Wurzeleinheiten, Volumen und Ostium naturale Durchmesser, dargestellt. Weibliche und männliche Patienten wurden separat betrachtet, um mögliche Unterschiede in den Messungen besser zu erkennen.

Zwischen verschiedenen Gruppen (z. B. Geschlecht) erfolgte der graphische Vergleich teilweise mit Hilfe der Boxplot-Darstellung. Die Box umfasste dabei die 25. bis 75. Perzentile mit einem durch eine horizontale Linie gekennzeichneten Median.

Mittels der zweifachen linearen Regression wurde der Einfluss vom Geschlecht auf das Kieferhöhlenvolumen, korrigiert nach dem Alter, untersucht. Diese Untersuchungen wurden jeweils für das rechte Kieferhöhlenvolumen, für das linke Kieferhöhlenvolumen und für das mittlere Kieferhöhlenvolumen durchgeführt.

Die nicht parametrische Korrelation nach Spearman (Rangkorrelationskoeffizienten) wurde verwendet, um den Zusammenhang zweier ordinalskalierten Merkmale zu überprüfen. Dies wurde sowohl für beide Geschlechter gemeinsam als auch separat zwischen allen stetigen Variablen (Volumen etc.) seitlich getrennt durchgeführt.

Um den Einfluss des Septumdeviationswinkels auf das Kieferhöhlenvolumen zu untersuchen, wurde eine nicht-parametrische Varianzanalyse mit dem Kruskal-Wallis-Test (parameterfreier Mehrstichprobentest) durchgeführt. Dieser Rangsummentest basiert dabei auf der Nullhypothese, dass zwischen den Gruppen kein Unterschied besteht.

5. Resultate

5.1 Geschlechts- und Altersverteilung

In der vorliegenden Dissertation wurden die DVT Datensätze von 55 Patienten (30 Frauen und 25 Männer) ausgewertet. Die untersuchten Patienten waren im Alter zwischen 15.8 und 83.1 Jahren. Das Durchschnittsalter betrug 46.3 Jahre [Frauen: 46.9 (min 15.8, max 83.1); Männer: 45.5 (min 16.9, max 70.3)].

Der untenstehenden Grafik zur Altersverteilung (Abbildung 13) ist zu entnehmen, dass die meisten untersuchten Patienten über 50 Jahre alt waren. Die Altersgruppe der unter zwanzig Jährigen stellte mit 4 Patienten die kleinste Gruppe dar.

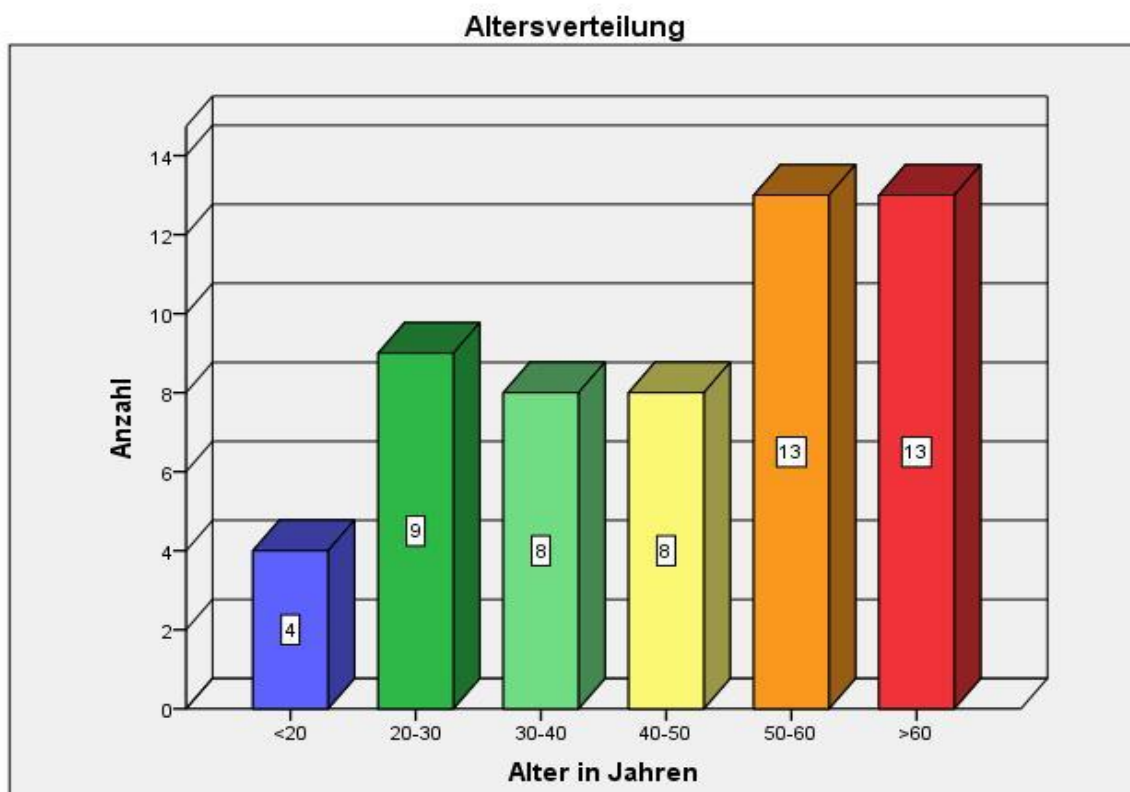


Abbildung 14: Altersverteilung

In der untenstehenden Tabelle (Tabelle 2) ist eine Übersicht über die durchgeführten Messungen und die dazugehörigen wichtigsten statistischen Kennzahlen enthalten.

Messung	Einheit	N	MEAN	SD	95%CI	Min	Max
Alter	[J]	55	46.28	17.12	(41.65; 50.9)	15.8	83.07
AZ Wurz. re		55	7.29	3.62	(6.31; 8.27)	0	11
AZ Wurz. li		55	7.2	3.35	(6.29; 8.11)	0	11
KH-Vol re	[cm ³]	54	14.9	5.6	(13.37; 16.41)	4.2	30.1
KH-Vol li	[cm ³]	54	15.2	5.9	(13.65; 16.76)	3.8	33.6
Ostium re	[mm]	52	1.87	0.65	(1.69; 2.05)	0.95	4.08
Ostium li	[mm]	54	1.89	0.66	(1.71; 2.07)	0.89	5.11
Septumdev.	[°]	55	0.67	5.55	(-0.83; 2.17)	-11	14

Tabelle 2: Ermittelte Messwerte und statistische Verteilung der Patienten

5.2 Volumenmessungen der Kieferhöhle

5.2.1 Volumen der Kieferhöhle

Es wurde an 54 rechten und 54 linken Kieferhöhlen Volumenmessungen durchgeführt. Das Kieferhöhlenvolumen war sehr variabel und reichte von 3.8 cm³ bis zu maximal 33.6 cm³. Das durchschnittliche Kieferhöhlenvolumen betrug 15 cm³(rechts 14.9 cm³, links 15.2 cm³).

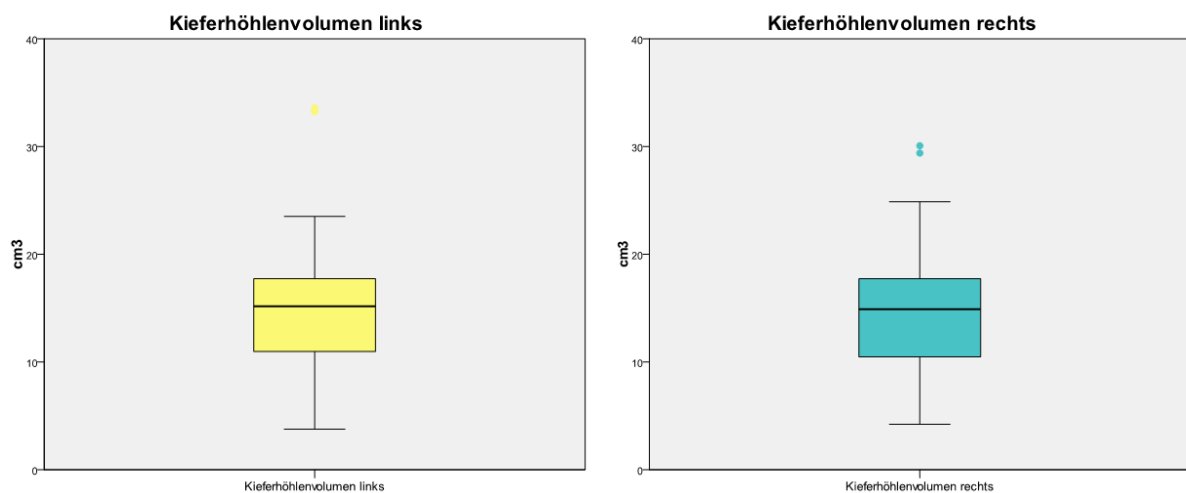


Abbildung 15: Kieferhöhlenvolumen

5.2.2 Symmetriegrad des rechten und des linken Kieferhöhlenvolumens

Die Arbeitshypothese 1 für diese Studie lautet: Kein Seitenunterschied im Kieferhöhlenvolumen rechts und links. Es wurde die Differenz zwischen dem auf der rechten und der linken Seite gemessenen Kieferhöhlenvolumen berechnet.

(Wie im Kapitel 4.7 „Statistische Methoden“ bereits beschrieben worden ist, wird in der Absicht, einen möglichen Unterschied der Volumenwerte der linken und der rechten Kieferhöhle festzustellen, die Differenz zwischen dem auf der rechten Seite gemessenen Kieferhöhlenvolumen und dem auf der linken Seite gemessenen Kieferhöhlenvolumen berechnet.) Mit den errechneten Differenzen wird eine deskriptive Statistik im PASW Programm durchgeführt. Eine genauere Betrachtung findet dabei das 95% Vertrauensintervall. Da der Wert Null darin eingeschlossen ist, bedeutet dies, dass kein signifikanter Volumenunterschied zwischen der Kieferhöhle rechts und der Kieferhöhle links, weder bei den männlichen noch bei den weiblichen Probanden, vorliegt.

Unsere Arbeitshypothese 1 konnte somit bestätigt werden.

5.2.3 Kieferhöhlenvolumen und Alter

Arbeitshypothese 2 :Lebenslanges Wachstum der Kieferhöhle → Volumenzunahme mit dem Alter.

Wie die unten angefügten Punktdiagramme (Abbildung 16) und die Tabelle (Tabelle 3) mit den Korrelationswerten zeigen, konnten bei der statistischen Auswertung der Daten keine signifikanten Volumenveränderungen der Kieferhöhlen mit dem Alter festgestellt werden. Die entsprechenden Signifikanzwerte sind tabellarisch aufgelistet. Es muss aber berücksichtigt werden, dass die Altersgruppen sehr ungleich verteilt sind.

		Frauen	Männer
Alter und KH-Vol re	Korrelation	-0.034	-0.155
	Signifikanz (p-Wert)	0.863	0.461
Alter und KH-Vol li	Korrelation	-0.203	-0.042
	Signifikanz (p-Wert)	0.291	0.842

Tabelle 3: Korrelationen und Signifikanzwerte zwischen Alter und Kieferhöhlenvolumen

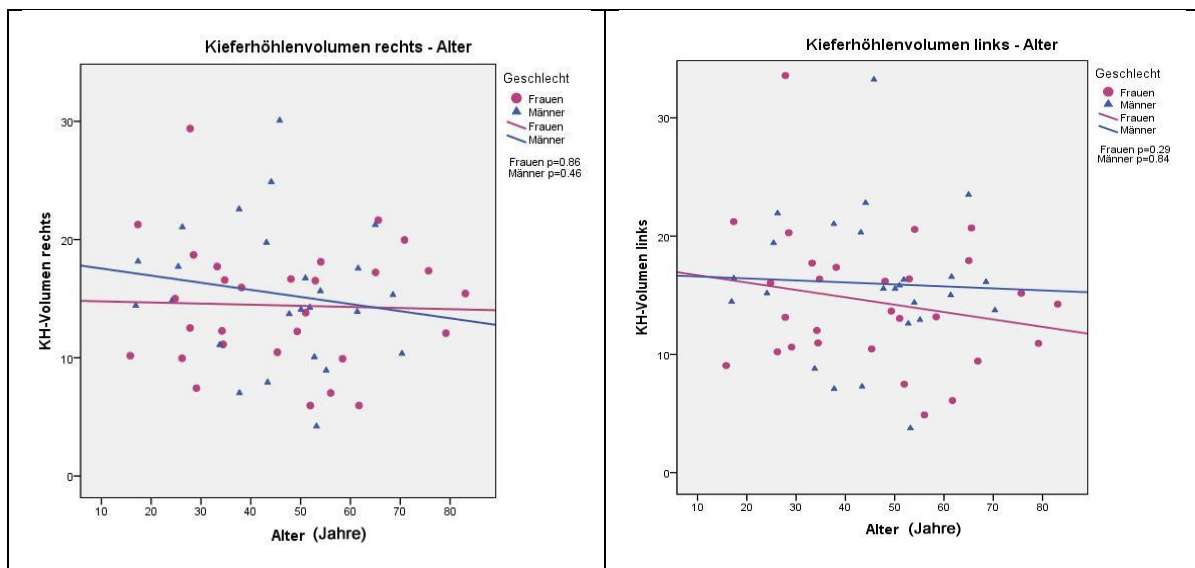


Abbildung 16: Die Punktdiagramme zeigen das Kieferhöhlenvolumen in Abhängigkeit vom Alter

Die Arbeitshypothese 2 über ein lebenslanges Wachstum der Kieferhöhle konnte somit nach statistischer Auswertung unserer Daten nicht bestätigt werden.

5.2.4 Kieferhöhlenvolumen und Geschlecht

Arbeitshypothese 3: Grösseres Kieferhöhlenvolumen bei Männern als bei Frauen

In der unten stehenden Boxplot-Darstellung gemäss Abbildung 17 sind die Ergebnisse der Untersuchung der Kieferhöhlenvolumina von 29 Frauen und 25 Männern dargestellt. Die wichtigsten statistischen Kennwerte bei den Frauen waren ein Mittelwert von 14.4 cm^3 mit einem 95% Konfidenzintervall vom $12.3\text{--}16.5 \text{ cm}^3$ und einem Median vom 14.1 cm^3 . Bei den Männern liess sich ein Mittelwert von 15.7 cm^3 mit einem 95% Konfidenzintervall vom $13.3\text{--}18.1 \text{ cm}^3$ und einem Median von 15.0 cm^3 feststellen.

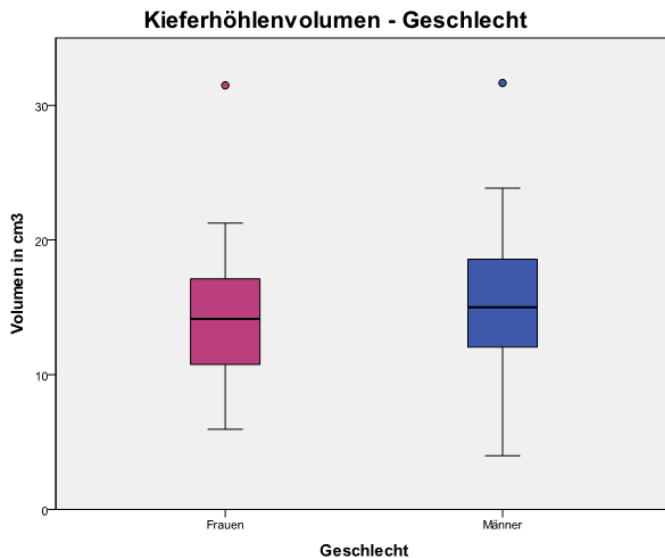


Abbildung 17: Die Boxplotdarstellung zeigt das Kieferhöhlenvolumen nach Geschlecht

Der Einfluss des Geschlechts auf das Volumen der Kieferhöhle, korrigiert nach Alter, wurde mit Hilfe der zweifachen linearen Regression untersucht. Der dabei festgestellte Signifikanzwert von 0.42 liegt deutlich über dem geforderten Mindestniveau von 0.05 und ist somit nicht signifikant.

In der vorliegenden Studie konnte somit kein signifikanter Unterschied im mittleren Kieferhöhlenvolumen bei Frauen und Männern festgestellt werden.

Die Arbeitshypothese 3 konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden.

5.2.5 Kieferhöhlenvolumen und Anzahl Wurzeleinheiten

Arbeitshypothese 4: Zunahme des Kieferhöhlenvolumens mit abnehmender Anzahl Wurzeleinheiten im Oberkieferseitenzahnbereich

Es wurden die radiologischen Daten von 29 Frauen und 25 Männern untersucht. Um eine mögliche Assoziation zwischen dem Kieferhöhlenvolumen und der Anzahl Wurzeleinheiten graphisch darzustellen, wurden Punktdiagramme verwendet. Weibliche und männliche Patienten wurden dabei separat betrachtet, um eine mögliche Resultatverfälschung durch allfällige Geschlechtsunterschiede auszuschliessen. Die dazugehörigen Punktdiagramme sind unten in Abbildung 18 angefügt. Diesen Grafiken ist zu entnehmen, dass die Punktwolke keinem klaren linearen Trend folgt. Dies bestätigen auch die dazugehörigen Regressionskoeffizienten (linke Kieferhöhle bei Frauen $R^2=0.244$, linke Kieferhöhle bei

Männern $R^2=0.003$; rechte Kieferhöhle bei Frauen $R^2=0.109$, rechte Kieferhöhle bei Männern $R^2=0.037$).

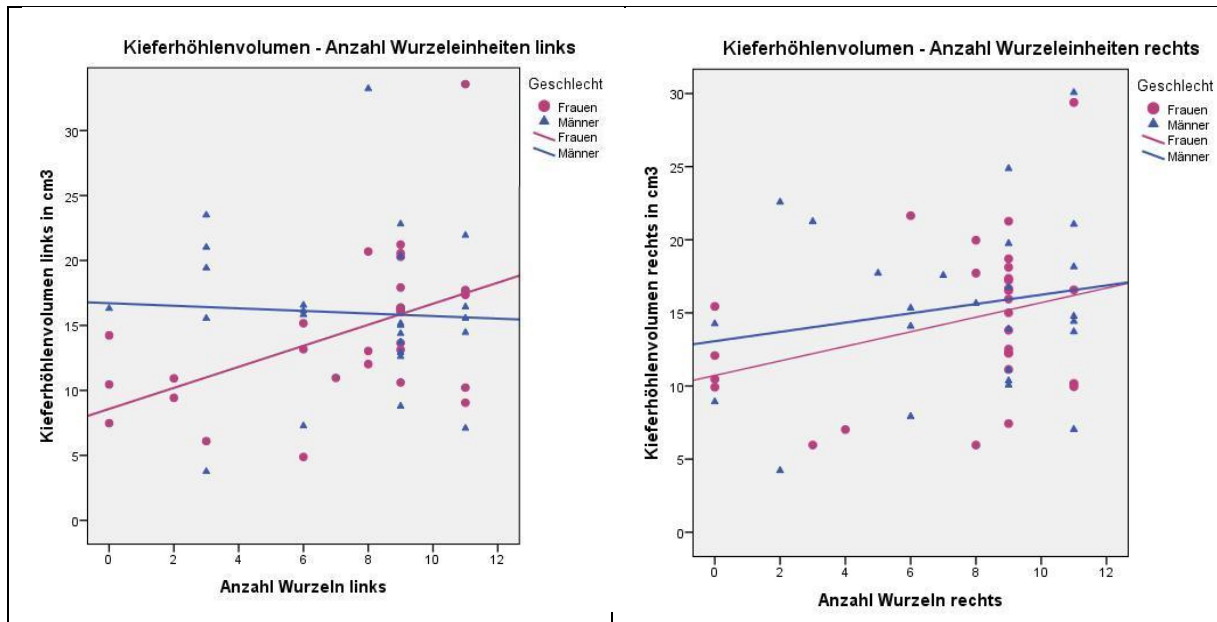


Abbildung 18: Die Punktediagramme zeigen seitengetreunt die Korrelation des Kieferhöhlenvolumen mit der Anzahl Wurzeleinheiten (Bezahlungsgrad)

Um einen allfälligen statistischen Zusammenhang zwischen dem Kieferhöhlenvolumen und der Anzahl Wurzeleinheiten zu erkennen, wurde der Pearson Korrelationskoeffizient verwendet. Die Korrelation des linken Kieferhöhlenvolumens und der Anzahl Wurzeleinheiten links bei Frauen (0.494) war auf dem Niveau von 0.01 (2-seitig) hochsignifikant; das heisst, dass zwischen dem Kieferhöhlenvolumen und der Anzahl Wurzeleinheiten im Oberkiefer links ein positiver linearer Zusammenhang besteht. Demnach ist ein kleineres Kieferhöhlenvolumen zu erwarten, wenn weniger Zähne *in situ* sind.

Bei allen anderen untersuchten Korrelationen liess sich jedoch keine Signifikanz feststellen. Die Korrelations- und Signifikanzwerte sind in tabellarischer Form unten angefügt (Tabelle 4).

		Frauen	Männer
Anzahl Wurzeln rechts und KH-Vol rechts	Korrelation	0.330	0.193
	Signifikanz (p-Wert)	0.080	0.356
Anzahl Wurzeln links und	Korrelation	0.494	-0.052
	Signifikanz (p-Wert)	0.006	0.803

KH-Vol links			
Tabelle 4: Korrelationen zwischen der Anzahl der Wurzeleinheiten und dem Kieferhöhlenvolumen (KH-Vol)			

Da keine signifikante Zunahme des Kieferhöhlenvolumens mit abnehmender Anzahl Wurzeleinheiten im Oberkiefer festgestellt werden konnte, und in einem Fall sogar ein positiver linearer Zusammenhang festgestellt wurde, was auf eine Abnahme des Sinusvolumens bei Zahnverlust hindeutet, muss die Arbeitshypothese 4 verworfen werden.

5.2.6 Kieferhöhlenvolumen und Durchmesser des Ostium naturale

Arbeitshypothese 5: Bei kleinem Durchmesser des Ostium naturale → geringeres Volumen des Sinus maxillaris

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Durchmesser des Ostium naturale der Kieferhöhle in 52 Fällen auf der rechten und in 54 Fällen auf der linken Seite bestimmt. Diese Messungen ergaben einen mittleren Ostiumdurchmesser von 1.9 mm rechts (SD 0.7 mm, Min. 0.9 mm, Max. 5.1 mm) und von 1.9 mm links (SD 0.7 mm, Min. 1.0 mm, Max. 4.1 mm). Die schematische Darstellung, in Form von Boxplotgrafiken, ist unten in Abbildung 18 angefügt.

Gemäss Arbeitshypothese 5 wird postuliert, dass bei einem kleinen Durchmesser des Ostium naturale ein geringeres Volumen des Sinus maxillaris zu erwarten ist. Um diese Arbeitshypothese zu überprüfen, wurde ähnlich vorgegangen wie bei der Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen dem Kieferhöhlenvolumen und der Anzahl Wurzeleinheiten; siehe Kapitel (4.5; 5.2.5).

Zur Veranschaulichung wurden die ermittelten Daten, getrennt für die linke und rechte Seite, in Punktdiagrammen dargestellt; siehe Abbildung 19. Aus diesen Punktdiagrammen ist ersichtlich, dass die untersuchten Werte keinen linearen Zusammenhang aufweisen, was sich auch in den dazugehörigen Korrelationswerten, welche in tabellarische Form (Tabelle 5) angefügt sind, ablesen lässt.

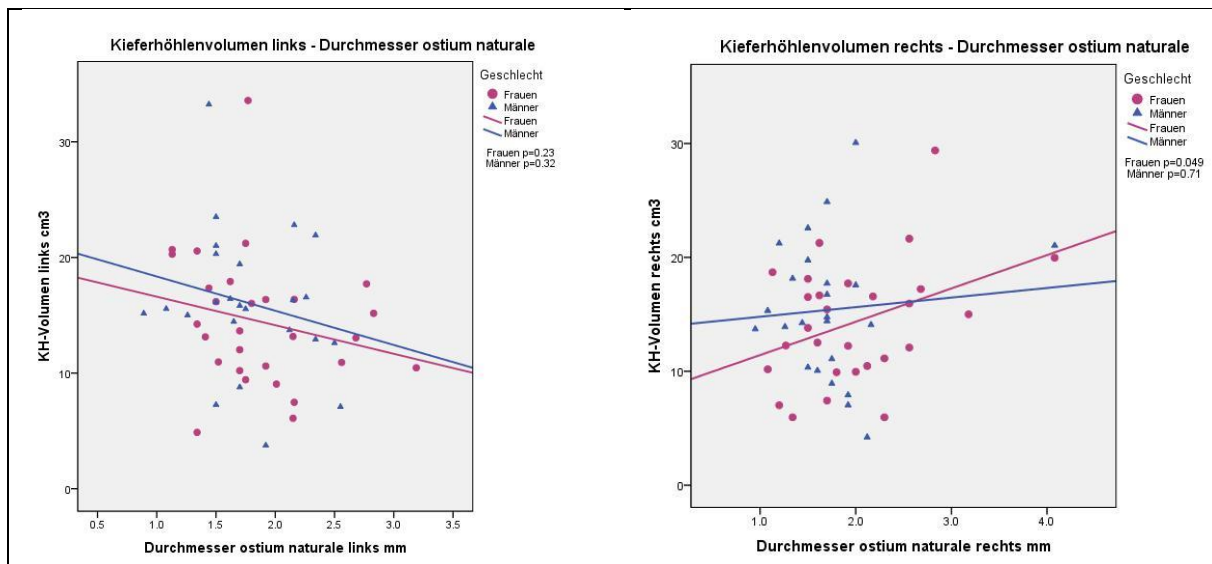


Abbildung 19: Korrelation zwischen dem Durchmesser des Ostium naturale und dem Kieferhöhlenvolumen seitentrennt für die rechte und linke Kieferhöhle

		Frauen	Männer
Ostiumdurchmesser rechts und KH-Vol rechts	Korrelation	0.375	0.083
	Signifikanz (p-Wert)	0.049	0.701
Ostiumdurchmesser links und KH-Vol links	Korrelation	-0.227	-0.212
	Signifikanz (p-Wert)	0.237	0.320

Tabelle 5: Korrelationen zwischen Ostiumdurchmesser und Kieferhöhlenvolumen (KHVol)

Da nur in einem von vier Fällen ein signifikanter positiver linearer Zusammenhang zwischen dem Durchmesser des Ostium naturale und dem Kieferhöhlenvolumen gezeigt werden konnte, kann die Arbeitshypothese 5 nicht vollumfänglich bestätigt werden.

Auf Grund dieser Untersuchungsergebnisse kann nicht davon ausgegangen werden, dass ein grösserer Ostiumdurchmesser mit einem grösseren Kieferhöhlenvolumen einhergeht.

5.2.7 Kieferhöhlenvolumen und Nasenseptumdeviation

Arbeitshypothese 6: Grösseres Kieferhöhlenvolumen auf der konkaven Seite der Nasenseptumdeviation.

Der Grad der Nasenseptumdeviation wurde im Rahmen dieser Studie in insgesamt 54 Fällen an DVT Daten gemessen und in Gruppen eingeteilt. Diese Vorgehensweise ist im Kapitel 4.4 ausführlich beschrieben. Um die Arbeitshypothese 6 zu überprüfen, wurde der Kruskal-

Wallis-Test angewendet. Dieser eignet sich, im Gegensatz zur Varianzanalyse, um intervallskalierte, abhängige Variablen, welche nicht normalverteilt sind – in diesem Fall der Grad der Nasenseptumdeviation - zu testen. Mit dem Kruskal-Wallis-Test wird überprüft, ob die Unterschiede der mittleren Ränge, zwischen mehreren Gruppen, signifikant sind. Es wird untersucht, ob sich die zentrale Tendenz der Gruppen unterscheidet. Dabei wird die Nullhypothese überprüft, ob die Verteilung der Rangplätze der verschiedenen Gruppen in der gemeinsamen Rangreihe gleichmässig ist.

In den unten angefügten SPSS-Ausgabetafeln (Tabelle 6 und 7) dieser Studie kann abgelesen werden, dass der p-Wert sowohl für das linke als auch für das rechte Kieferhöhlenvolumen grösser ist als das Signifikanzniveau von 0.05. Somit kann davon ausgegangen werden, dass keine signifikanten Unterschiede in der zentralen Tendenz der verschiedenen Nasenseptumdeviationsgruppen vorliegen, da die Nullhypothese bestätigt wurde.

Kruskal-Wallis-Test				Statistik für Test ^{a,b}	
Ränge					KH-Volumen links
Septumsgruppen	N	Mittlerer Rang		Chi-Quadrat	1.529
KH-Volumen links	20	30.60		df	2
	14	27.43		Asymptotische Signifikanz	.466
	20	24.45		a. Kruskal-Wallis-Test	
Gesamt	54			b. Gruppenvariable: Septumsgruppen	

Tabelle 6: Kruskal-Wallis-Test Kieferhöhlenvolumen links

Kruskal-Wallis-Test				Statistik für Test ^{a,b}	
Ränge					KH-Volumen rechts
Septumsgruppen	N	Mittlerer Rang		Chi-Quadrat	.847
KH-Volumen rechts	20	30.05		df	2
	14	25.64		Asymptotische Signifikanz	.655
	20	26.25		a. Kruskal-Wallis-Test	
Gesamt	54			b. Gruppenvariable: Septumsgruppen	

Tabelle 7: Kruskal-Wallis-Test Kieferhöhlenvolumen rechts

Diese Resultate sind unten in Boxplotgrafiken dargestellt (Abbildung 20). Auf diesen Grafiken ist ebenfalls zu erkennen, dass die verschiedenen Septumgruppen zwar eine unterschiedliche Verteilung aufweisen, sich aber im Median kaum unterscheiden.

Somit konnte im Rahmen dieser Studie keine statistisch signifikanten Differenzen im Volumen der Kieferhöhlen auf der konvexen und auf der konkaven Seite der Nasenseptumdeviation festgestellt werden.

Die Arbeitshypothese 6 wird somit eindeutig widerlegt. Eine Nasenseptumdeviation hat nur einen geringen bis gar keinen Einfluss auf das Volumen des Sinus maxillaris.

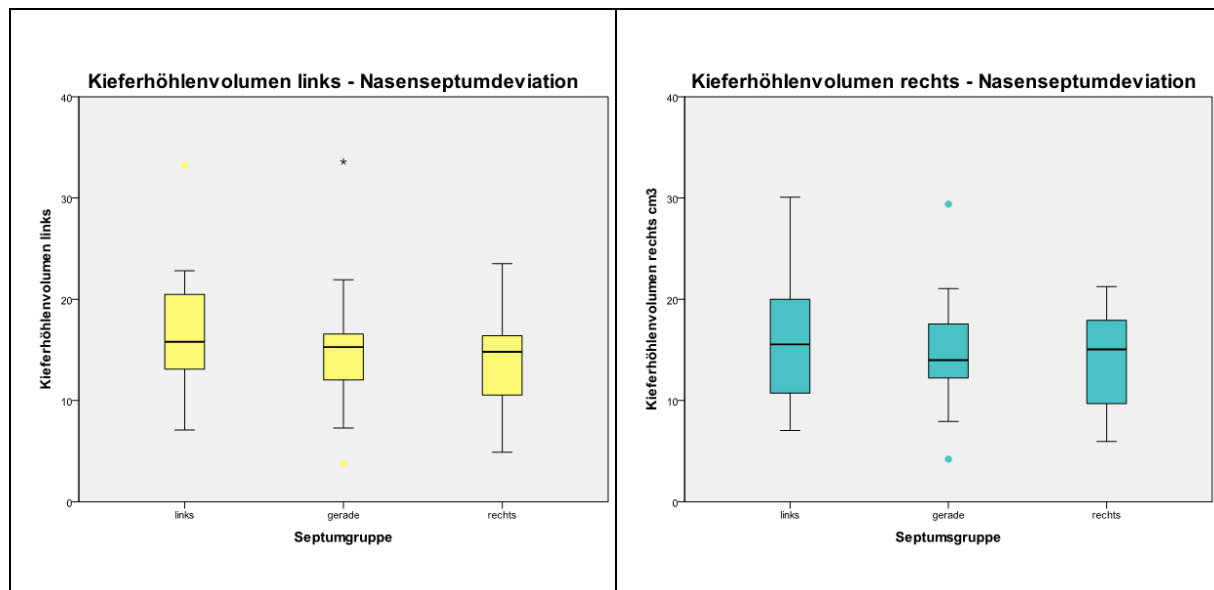


Abbildung 20: Korrelation zwischen der Nasenseptumdeviation und dem Kieferhöhlenvolumen seitentrennt für die rechte und linke Kieferhöhle

6. Diskussion

6.1 Volumen der Kieferhöhle

Der in dieser Studie ermittelte Volumenmittelwert von 15.03 cm³ stimmt mit dem in verschiedenen Studien aufgezeigten Durchschnittsvolumen der Kieferhöhle überein

Die Resultate bisheriger Studien sind in der untenstehenden Tabelle (Tabelle 8) aufgelistet. Ebenfalls angegeben ist, auf welche Art diese Messungen erfolgten. Obwohl die meisten Studien CT-Datensätze für ihre Messungen verwendeten, wurde in einzelnen Studien das Kieferhöhlenvolumen direkt an anatomischen Präparaten bestimmt. Während in einigen Studien (Ikeda 1996; Fernandes 2004; Fernandes 2004; Jun, Song et al. 2005) leicht höhere Volumina ermittelt worden sind, werden in anderen Studien kleinere Volumina gemessen (Schaeffer, Jacob et al. 1910; Arij, Kuroki et al. 1994; Arij, Arij et al. 1996; Uchida, Goto et al. 1998; Uchida, Goto et al. 1998). Die Minimal- und Maximalvolumina der Kieferhöhlen wurden nur in den erwähnten Arbeiten von Uchida, Arij und Schaeffer angegeben. Deren Messergebnisse zur Bandbreite der Kieferhöhlenvolumina stimmen mit dem in der vorliegenden Studie ermitteltem Minimalwert vom 3.76 cm³ und dem Maximalvolumen von 33.58 cm³ weitgehend überein. Das Volumen der Kieferhöhle kann sehr stark variieren (Watzek and Matejka 1986). Diese Variationsbreite und auch die Gegebenheit, dass in den erwähnten Studien verschiedene Messmethoden zum Ermitteln des Kieferhöhlenvolumens angewandt worden sind, führen zu den doch etwas breit gefächerten Messresultaten.

Studie	Messform	Mean (Volumen)	Min-Max (Volumen)
--------	----------	----------------	-------------------

Jun (2005)	CT	24.04 cm ³ ♂/15.86 cm ³ ♀	
Fernandes (2004)	Schädel	16.4 cm ³	
Kim (2003)	CT	15.1 ± 6.2 ml	
Uchida (1998, Nov)	CT	13.6 ± 6.42 cm ³	3.5 – 31.8 cm ³
Uchida (1998, Okt)	Schädel	11.3 ± 4.6 cm ³	
Ikedo (1998)	CT	20.5 ± 9.2 ml	
Ariji (1994)	CT	14.71 ± 6.33 cm ³	4.4 – 35.2 cm ³
Schaeffer (1910)	Schädel	14.75 cm ³	9.5 - 20.0 cm ³

Tabelle 8: Messergebnisse verschiedener Studien zum Kieferhöhlenvolumen

6.2 Symmetriegrad des rechten und linken Kieferhöhlenvolumens

Obwohl von H. Plenk Jr. und M. Tschabitscher in „Erkrankungen der Kieferhöhle“ (Watzek and Matejka 1986) auf häufige Seitenungleichheiten der Kieferhöhlen hingewiesen wird, konnte in dieser Studie weder bei männlichen noch bei weiblichen Patienten ein signifikanter Seitenunterschied im Kieferhöhlenvolumen ermittelt werden. Dieses Untersuchungsergebnis wird bestätigt von den Untersuchungsergebnissen von Uchida, Fernandes und Ariji (Ariji, Kuroki et al. 1994; Ariji, Ariji et al. 1996; Uchida, Goto et al. 1998; Uchida, Goto et al. 1998; Fernandes 2004), welche in ihren Studien ebenso zum Schluss gekommen sind, dass kein signifikanter Unterschied im Volumen der rechten und linken Kieferhöhle vorliegt. Die Untersuchungsmethoden der verschiedenen Studien unterscheiden sich zwar, kommen aber alle zum selben Endergebnis.

Somit kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass sich das Kieferhöhlenvolumen einerseits zwischen verschiedenen Personen zwar sehr stark unterscheiden kann, aber dass sich andererseits personenbezogen das Volumen der rechten und der linken Kieferhöhle praktisch nicht unterscheidet.

6.3 Kieferhöhlenvolumen und Alter

In Übereinstimmung mit der Studie von Uchida (Uchida, Goto et al. 1998; Uchida, Goto et al. 1998), konnte in unserer Studie keine altersabhängige Veränderung des Kieferhöhlenvolumens festgestellt werden. Es ist aber anzumerken, dass sich Uchidas Studie in einigen Punkten grundsätzlich von der vorliegenden Arbeit unterscheidet. In Uchidas

Studie wurden insgesamt 32 rechte und 27 linke Kieferhöhlen untersucht. Unsere Fallzahl ist mit 54 rechten und 54 linken untersuchten Kieferhöhlen fast doppelt so gross. Der grundlegendste Unterschied zwischen den beiden Studien liegt darin, dass in unserer Studie das Kieferhöhlenvolumen volldigital mit DVT-Datensätze der Patienten in der iPlan ENT 2.6 Software (siehe auch Kapitel 4.2) bestimmt wurde. Uchida hatte dagegen Leichenschädel untersucht, deren Kieferhöhlen er mit Silikon (Duplicone, Shofu Inc., Kyoto; Japan) ausgoss. Das Volumen der Silikonmasse bestimmte er danach in einem mit Wasser gefülltem kalibrierten Zylinder auf 0.1 cm³ genau. Des Weiteren muss erwähnt werden, dass in Uchidas Studie vorwiegend Leichen von älteren Personen untersucht worden sind (40 der total 59 untersuchten Kieferhöhlen stammten von Personen, welche älter als 70 Jahre waren). In unserer Studie lag das Durchschnittsalter der Patienten bei 46.3 Jahren und es wurden Kieferhöhlen von Patienten im Alter von 15.8 Jahren bis 81.3 Jahren untersucht, was unserer Meinung nach eine viel genauere Aussage über mögliche altersabhängige Kieferhöhlenvolumenveränderungen zulässt.

Dagegen konnten in anderen Untersuchungen, auf welche weiter unten eingegangen wird, verschiedene altersabhängige Veränderungen des Kieferhöhlenvolumens festgestellt werden.

Jun (Jun, Song et al. 2005) untersuchte im Rahmen seiner Studie CT-Datensätze von 173 Patienten (109 Kieferhöhlen von Männern und 109 Kieferhöhlen von Frauen) und wertete dabei die Daten von 238 Kieferhöhlen aus (diese Zahlen sind exakt der Studie entnommen). Genaue Altersangaben werden in der Studie nicht gemacht, aber es sind angeblich Patienten aus allen Altersgruppen zwischen 0 und 80 Jahren untersucht worden. Die Volumenmessung der Kieferhöhlen erfolgte in seiner Studie, ähnlich wie in unserer Studie, mit Hilfe einer Software (Vworks), womit in den CT-Datensätzen das dreidimensionale Volumen der Kieferhöhle gemessen werden konnte. Jun stellte eine signifikante Volumenzunahme der Kieferhöhle bis zur 3. Dekade bei Männern, respektive bis zur 2. Dekade bei Frauen fest. Nach dieser maximalen Wachstumsperiode zeigte sich eine leichte Volumenabnahme, welche zwar zwischen zwei aufeinanderfolgenden Altersgruppen nicht signifikant war, aber insgesamt als Trend festgestellt werden konnte. Deshalb kommt Jun in seiner Studie zum Schluss, dass nach Abschluss des Kieferhöhlenwachstums eine subtile aber stetige Abnahme des Kieferhöhlenwachstums stattfindet.

Ähnliche altersabhängige Volumenveränderungen wie Jun stellte auch Arijj 1994 (Arijj, Kuroki et al. 1994) in seinen Untersuchungen fest. Er führte seine Studie an CT-Schnittbildern von 115 japanischen Patienten (58 Männer, 57 Frauen) im Alter von 4 bis 94 Jahren, mit einem Durchschnittsalter von 46.8 Jahren durch. Im Unterschied zu unserer Studie und jener von Jun wurde aber das Kieferhöhlenvolumen mit Hilfe einer mathematischen Formel aus den CT-Schnittbildern berechnet. Dieses Vorgehen könnte möglicherweise zu Ungenauigkeiten geführt haben. Arijj stellte eine Volumenzunahme des Kieferhöhlenvolumens bis zu einem Alter von 20 Jahren (Korrelationskoeffizient 0.72) und eine nachfolgende kontinuierliche Volumenabnahme (Korrelationskoeffizient 0.43) fest. Es ist anzumerken, dass die in Arijjs Studie festgestellte altersabhängige Volumenabnahme nach dem 20. Lebensjahr einen eher geringen Korrelationskoeffizient aufweist, was Jun's Schlussfolgerung, dass ein nur sehr subtiler Volumenrückgang der Kieferhöhle mit dem Alter stattfindet, festigt. Diesen Sachverhalt lassen auch die Grafiken unserer Studie vermuten (Tabelle 3, Abbildung 16).

Ikeda untersuchte das Kieferhöhlenvolumen in zwei Studien (Ikeda 1996; Ikeda, Ikeda et al. 1998). Die erste Studie von 1996 ist in japanischer Sprache verfasst, weshalb wir uns nur auf die englische Zusammenfassung davon beziehen können und auf Daten, welche er in seiner zweiten Studie von 1998 für Vergleiche beizieht. Die erste Studie führte er an CT-Schnittbildern von 185 Patienten im Alter von 15 bis 80 Jahren durch (84 Männer, 101 Frauen). In der zweiten Studie untersuchte er die CT-Schnittbilder von 47 Kindern im Alter von 4 bis 15 Jahren, wobei er das Kieferhöhlenvolumen mit Hilfe einer mathematischen Formel aus den CT-Schnittbildern berechnete. Ikeda kommt zum Schluss, dass die Verteilung des Kieferhöhlenvolumens nach Altersgruppen ein monomodales Muster mit einem Höhepunkt in der 2. Dekade zeigt.

Killey (Killey and Kay 1975) weist in seinem Buch auf ältere Studien von Sicher (1949) und von Mattilla und Westerholm (1968) hin, welche in ihren Arbeiten eine lebenslange Volumenzunahme der Kieferhöhlen postulierten. Leider werden in diesem Buch keine Angaben darüber gemacht, wie in den zitierten Studien diese Resultate zustande gekommen sind. Dieser Umstand macht diese Studien für einen Vergleich mit anderen Studien ungeeignet.

Bernhart (Bernhart, Ulm et al. 1999) erwähnt in seiner Arbeit die Untersuchung aus dem Jahr 1986 von Plenk und Tschabitscher aus dem Buch von Georg Watzek (Watzek and Matejka 1986), welche auf eine Ausdehnung des Sinus maxillaris mit steigendem Alter hinweist. Die Arbeit von Plenk und Tschabitscher wird ebenso in der Arbeit von Solar (Solar, Aro et al. 1998) zitiert. Es ist aber zu erwähnen, dass in der besagten Untersuchung von Plenk und Tschabitscher im Buch von Watzek lediglich von einer Ausdehnung der Kieferhöhle bis zum Abschluss der zweiten Dentition berichtet wird. Über spätere altersabhängige Volumenänderungen wird in dieser Untersuchung nichts erwähnt. Solar zitiert in seiner Arbeit des weiteren Gruber et al 1993, ebenfalls aus dem Buch von Watzek (Watzek and Matejka 1986), welcher über eine zunehmende Pneumatisation und damit einer Vergrößerung des Sinus maxillaris auf Kosten der angrenzenden Knochensubstanz des Alveolarfortsatzes und des Tubers maxillae berichtet. Gruber erwähnt aber, dass dieser Prozess durch den Zahnverlust beschleunigt wird, was die Resultate nach heutiger Erkenntnis verfälschen könnte. Aus demselben Grund ist auch die französische Studie von Dragaud (Dragaud, Cotton et al. 2003) für einen Vergleich mit der vorliegenden Studie wenig geeignet, da er auch nur erwähnt, dass das Volumen der Kieferhöhle sehr variabel ist, und zwar abhängig vom Alter und vom Bezahnungsgrad. Er weist auch darauf hin, dass das Sinusvolumen bei älteren Personen auf Grund der Zahnlosigkeit grösser ist.

Somit sind die im vorhergehenden Abschnitt erwähnten Arbeiten von begrenztem Nutzen für einen Vergleich mit der vorliegenden Untersuchung, die die Einflüsse von Alter und Bezahnungsgrad auf das Kieferhöhlenvolumen separat untersucht hat, um mögliche Störfaktoren zu eliminieren. Es wurden keine signifikanten Veränderungen des Kieferhöhlenvolumens im Alter festgestellt.

Es gibt auch diverse hormonelle und altersbedingte Veränderungen, wie zum Beispiel Osteoporose, welche unter anderem auch die an die Kieferhöhle angrenzende Knochenmasse beeinflussen können und somit ist das Volumen der Kieferhöhle komplexen Veränderungen ausgesetzt. Das Zusammenspiel dieser komplexen Veränderungen könnte eine interessante Thematik für zukünftige Studien sein.

6.4 Kieferhöhlenvolumen und Geschlecht

Wie bereits Ariji (Ariji, Kuroki et al. 1994) in seiner Studie an CT-Schnittbildern von 115 Japanern, konnten auch wir in der vorliegenden Untersuchung keinen signifikanten Geschlechtsunterschied in Bezug auf das Volumen der Kieferhöhlen feststellen. Bei der statistischen Auswertung der Daten wurde die Untersuchung der geschlechtsabhängigen Volumenunterschiede, korrigiert nach dem Alter, durchgeführt. In der Arbeit von Ariji gibt es keine Angaben darüber, ob eine solche Korrektur auch vorgenommen worden ist. Im Gegensatz dazu stellte Jun 2005 (Jun, Song et al. 2005) signifikante geschlechtsabhängige Unterschiede im Kieferhöhlenvolumen ($p\text{-Wert} < 0.05$) fest. In allen von ihm untersuchten Altersgruppen hatten Männer ein signifikant grösseres Sinusvolumen als Frauen.

Die beiden im folgenden beschriebenen Studien von Fernandes (Fernandes 2004) und Kim (Kim, Yoon et al. 2003) eignen sich nur begrenzt zum Vergleich mit den zuvor beschriebenen Studien und der vorliegenden Studie, da sie an Leichenschädeln durchgeführt wurden. Fernandes fertigte CT-Schnittbilder mit 1 mm Schichtdicke von 26 europäischen Leichenschädeln und 27 Leichenschädeln von Zulus an und berechnete das Sinusvolumen mit Hilfe der Brain Lab Software. Dies ist ein sehr ähnlich Verfahren, wie wir es in dieser Studie angewendet haben. Fernandes konnte in seiner Arbeit signifikante ($p\text{-Wert} = 0.002$) Geschlechtsunterschiede im Kieferhöhlenvolumen aufzeigen, wobei er bei den männlichen Schädeln das grössere Sinusvolumen feststellen konnte als bei weiblichen Schädeln. Ein möglicher störender Einfluss des Alters wurde in seiner Studie nicht beachtet. Kim untersuchte im Jahr 2003 in seiner Arbeit die CT-Schnittbilder (1 mm Schichtdicke) von 33 hemisektionierten Köpfen koreanischer Herkunft (19 Männer, 14 Frauen, Durchschnittsalter 55.8 Jahre). Das Kieferhöhlenvolumen bestimmte er mit Hilfe der V-Works-Software an den CT-Datensätzen. Dieses Programm fand auch in der Arbeit von Jun (Jun, Song et al. 2005) Verwendung. Bei Männern mass Kim ein grösseres Sinusvolumen (18.0 cm^3 , SD 6.2) als bei Frauen (11.1 cm^3 , SD 3.4), wobei die Studie mit nur total 33 untersuchten Kieferhöhlen eine eher geringe Aussagekraft hat.

6.5 Kieferhöhlenvolumen und Anzahl Wurzeleinheiten

Im Rahmen dieser Studie konnte kein klarer Zusammenhang zwischen dem Bezahnungsgrad und dem Kieferhöhlenvolumen festgestellt werden. Wie bereits im Kapitel 5.2.5 beschrieben, wurde das Kieferhöhlenvolumen in Bezug auf den Bezahnungsgrad, aufgeteilt nach Geschlecht und Seiten, untersucht, um einen möglichen störenden Einfluss zu verhindern. In einer Untergruppe konnte ein statistisch signifikanter positiver linearer Zusammenhang gefunden werden, was bedeuten würde, dass das Sinusvolumen bei Zahnverlust abnehmen würde. Dieser Zusammenhang konnte aber in den anderen drei Teilgruppen nicht festgestellt werden und er wird auch in der Literatur nicht beschrieben, weshalb zu dieser Thematik weitere Untersuchungen mit grösseren Fallzahlen notwendig sind, um einem möglichen Zusammenhang mit grösserer Sicherheit begründen zu können. In der Literatur sind zu dieser Thematik erst wenige Studien veröffentlicht.

Chanavaz 1990 (Chanavaz 1990) trägt in seiner Arbeit grundlegende wissenschaftliche und klinische Kenntnisse zusammen, welche auf elfjähriger chirurgischer Erfahrung zu Themen rund um die Kieferhöhle beruhen. Er zeigt auf, dass Zahnverlust im Seitenzahnbereich zu einer Knochenresorption am Kieferhöhlenboden, durch verstärkte Osteoklastenaktivität der Sinusmembran, führt. Es ist anzumerken, dass von Chanavaz selbst zu diesem Thema keine klinischen Untersuchungen durchgeführt wurden. Diese Studie von Chanavaz wird nebst anderen wissenschaftlichen Arbeiten, wie zum Beispiel von Kraut R 1989, in der Studie vom Smiler 1992 (Smiler, Johnson et al. 1992) über Sinuslifts erwähnt. Smiler gibt in seiner Arbeit an, dass ein früher Zahnverlust die Sinusvergrösserung auf Kosten des Alveolarfortsatzes fördert und postuliert zudem, dass sich nach Zahnverlust im Periost der Schneider'schen Membran eine erhöhte Osteoklastenaktivität zeigt, was in einer Resorption am Kieferhöhlenboden resultiert.

Ulm (Ulm, Solar et al. 1995) zitieren in ihrer Arbeit andere Autoren, unter anderen auch Chanavaz, und führten selbst eine Studie durch, in welcher sie Messungen an anatomischen Präparaten des zahnlosen Alveolarfortsatzes durchführten, der an die Kieferhöhle angrenzte (n= 47, 30 Männer, 17 Frauen, im Alter von 53 bis 94 Jahren). Sie kamen zum Schluss, dass bei langfristiger Zahnlosigkeit sowohl ein Knochenumbau als auch ein Knochenabbau sowie eine progressive Ausdehnung des Sinus maxillaris erfolgen. Die Pneumatisation scheint einen beachtlichen Einfluss auf den Knochenverlust zu haben. Dieser Knochenverlust sei unter anderem bedingt durch die erhöhte Osteoklastenaktivität in der Sinusmembran. Ebenso hält

sich Solar (Solar, Aro et al. 1998) in seiner Arbeit, welche die Form einer Literaturübersicht (Review Studie) hat, an die Aussagen früherer Arbeiten von Chanavaz (Chanavaz 1990), Gruber (Gruber, Solar et al. 1993) und Ulm (Ulm, Solar et al. 1995). In der zitierten Arbeit von Gruber wird lediglich über eine Kieferhöhlenausdehnung berichtet, welche durch das Alter und den Zahnverlust beschleunigt wird. Zudem wird besagt, dass der Sinusboden an jener Stelle, an welcher der Zahnverlust am längsten zurückliegt, am apikalsten liegt. Solar erklärt die Ausbreitung der Kieferhöhle durch eine individuell äusserst verschieden schnelle Pneumatisation der funktionslos gewordene Areale der Maxilla und durch die mit dem Zahnverlust zusammenhängende Abnahme der auf die Sinuswände einwirkenden Kaukräfte. Leider gibt es keine klaren Angaben, woher diese Feststellungen stammen.

Im Gegensatz zu den Autoren im vorhergegangenen Abschnitt führte Sharan 2008 (Sharan and Madjar 2008) eine eigene ausführliche retrospektive klinische Untersuchung zur Thematik der Sinuspneumatisation nach Zahnextraktionen durch. Ein grosser Vorteil dieser Studie besteht darin, dass Messungen am gleichen Patienten und Vergleiche mit Kontrollgruppen durchgeführt worden sind. Die Messungen wurden an OPT's von Erwachsenen durchgeführt, und das Niveau des Sinusbodens wurde im Bezug zu 2 Referenzlinien bestimmt. In einer ersten Teilstudie beurteilte Sharan die OPT's von 152 Patienten (135 Männer, 17 Frauen, Durchschnittsalter 40 Jahre), welchen seit mindestens 6 Monaten mindestens ein Seitenzahn fehlte und welche auf der Gegenseite, die als Referenz diente, vollbezahnt waren. Die Resultate wurden mit einer beidseitig vollbezahnten Kontrollgruppe von 64 Patienten (45 Männer, 19 Frauen, Durchschnittsalter 28 Jahre) verglichen. In einer zweiten Teilstudie verglich Sharan 58 OPT-Paare (50 Männer, 8 Frauen, Durchschnittsalter 41 Jahre). Das erste OPT stammte von einem vollbezahnten Patienten und das zweite OPT wurde vom selben Patienten mindestens 6 Monate nach einer oder mehreren Zahnextraktion(en) im Seitenzahnbereich angefertigt. Auch in dieser Teilstudie wurden die Resultate mit einer Kontrollgruppe von 41 Patienten (34 Männer, 7 Frauen, Durchschnittsalter 37 Jahre) verglichen.

Im Vergleich der bezahnten Stelle mit der gegenüberliegenden unbezahnten Stelle zeigte sich, dass der Sinusboden im unbezahnten Bereich 2.18 mm (SD 2.89) im Vergleich mit der Kontrollgruppe statistisch signifikant apikaler lag. Ebenfalls zeigte Sharan, dass der Sinusboden nach einer Zahnextraktion im postoperativen OPT gegenüber dem präoperativen OPT 1.83 mm (SD 2.46) statistisch signifikant apikaler lag. Diese Postextraktionspneumatisation der Kieferhöhle ereignet sich nach Sharan während der Heilungsphase der Alveole innerhalb von vier bis sechs Monaten nach der Extraktion.

Die grösste Expansion des Kieferhöhlenbodens nach apikal fand Sharan an jenen Stellen, an denen der zweite Molar entfernt oder zwei benachbarte Zähne extrahiert worden sind. Laut Sharan (Sharan and Madjar 2008) ist die zunehmende Pneumatisation durch osteoklastische Resorption der kortikalen Sinuswände bedingt, denn er beobachtete eine Expansion des Sinus maxillaris nach Zahnextraktionen im Oberkiefer. Bei diesem Pneumatisationsphänomen dehnte sich der Sinusboden nach Zahnverlust nach unten aus. Sharans Studie wurde an OPT's durchgeführt, und dem Kieferhöhlenvolumen wurde keine Beachtung geschenkt. Deshalb kann diese Studie nicht direkt mit unserer Studie verglichen werden. Diese Studie gibt aber gute Anhaltspunkte, wie sich die Kieferhöhle nach einer Zahnextraktion verändern kann.

Ariji konnte in seinen bereits im Kapitel 6.4 beschriebenen Studien (Ariji, Kuroki et al. 1994; Ariji, Ariji et al. 1996) anfänglich ebenfalls einen signifikanten Unterschied zwischen dem Kieferhöhlenvolumen bei Bezahnten und bei Unbezahnten feststellen. Aber dieser Unterschied soll laut Ariji durch die unterschiedliche Altersverteilung in den beiden Gruppen bedingt sein, denn nachdem der Alterseffekt miteinbezogen worden war, konnte kein signifikanter Volumenunterschied mehr zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Das Sinusvolumen zeigte auch keine statistisch signifikanten Differenzen im Seitenvergleich bei unterschiedlichem Bezahnungsgrad.

Uchida (Uchida, Goto et al. 1998) betrachtete als Einziger in seiner Studie sowohl das Kieferhöhlenvolumen als auch die Dimensionen der Kieferhöhle. Leider, wie bereits im Kapitel 6.4 erwähnt wurde, weist die Studie mit 59 untersuchten Kieferhöhlen eine geringe Fallzahl auf und wurde an Leichen durchgeführt. Trotzdem konnte Uchida zeigen, dass die anterioposteriore Länge der Kieferhöhlen in Bezahnten und Unbezahnten keine statistisch signifikanten Differenzen aufwiesen. Ausserdem wurde gezeigt, dass Unbezahnte gegenüber Bezahnten signifikant grössere Werte bei der Höhe und der Breite der Kieferhöhlen aufwiesen. Umgekehrt wurde aber keine statistisch signifikante Volumendifferenz des Sinus maxillaris zwischen Bezahnten und Unbezahnten festgestellt.

Diese Feststellung von Uchida könnte Hinweise darauf geben, dass nach Zahnverlust wesentliche Umbauprozesse im Bereich der Kieferhöhle, insbesondere am Kieferhöhlenboden, stattfinden, welche aber das Sinusvolumen äusserst gering oder gar nicht beeinflussen.

Abschliessend kann gesagt werden, dass die Extraktion eines Seitenzahnes zwar Umbauprozesse im Bereich der Kieferhöhle zur Folge hat, aber dass weder in der Literatur noch in dieser Studie ein direkter Einfluss auf das Kieferhöhlenvolumen gezeigt werden konnte.

Es bedarf weiterer Studien, welche sich mit den genauen Dimensions- und Volumenveränderungen der Kieferhöhle befassen, bestenfalls mittels DVT oder CT Daten derselben Patienten vor und mindestens 6 Monate nach einer Zahnextraktion im Seitenzahnbereich.

6.6 Kieferhöhlenvolumen und Durchmesser des Ostium naturale

In dieser Studie konnte, wie im Kapitel 5.2.6 aufgezeigt, in einer von vier Untergruppen ein positiver linearer Zusammenhang zwischen dem Durchmesser des Ostium naturale und dem Kieferhöhlenvolumen gezeigt werden.

In der Literatur sind bislang keine Untersuchungen über einen direkten Zusammenhang zwischen dem Durchmesser des Ostium naturale der Kieferhöhle und dem Kieferhöhlenvolumen zu finden, aber es sind Studien vorhanden, welche Anhaltspunkte dazu geben, dass eine Ventilationsbeeinträchtigung das Volumen des Sinus maxillaris beeinflussen könnte.

Ikeda untersuchte in zwei Studien 1996 (Ikeda 1996) und 1998 (Ikeda, Ikeda et al. 1998) den Einfluss einer uni- und bilateralen chronischen Sinusitis auf das Kieferhöhlenvolumen bei Kindern und Erwachsenen (vergleiche auch mit Kapitel 2.3.6 und 2.3.7). In diesen beiden Studien konnte gezeigt werden, dass das Kieferhöhlenvolumen bei chronischer bilateraler Sinusitis maxillaris im Vergleich zu symptomfreien Kieferhöhlen verringert war. Ebenso war das Kieferhöhlenvolumen bei chronischer unilateraler Sinusitis maxillaris, verglichen mit der gesunden Gegenseite, verringert. Drei mögliche Thesen zur Erklärung wurden von den Autoren der Studie auf Grund von Literaturrecherchen aufgelistet:

1. Das Kieferhöhlenvolumen ging auf Grund von entzündlichen Veränderungen in den knöchernen Sinuswänden und damit verbundenen Knochenverdickungen zurück.
2. Falls das Infundibulum ethmoidale und der mittlere Meatus durch Entzündungen des osteomeatalen Komplexes und durch anatomische Variationen der Nasenhöhle verengt sind, kann dies zu chronischen Entzündungen führen und die Belüftung der Kieferhöhle beeinträchtigen.

3. Chronische Entzündungen treten mit grösserer Wahrscheinlichkeit in schlecht wachsenden Kieferhöhlen auf.

Zudem wird in Ikeda's Studie die Arbeit von Milczuk HA et al. 1993 zitiert, welche besagt, dass eine chronische Entzündung mit Beeinträchtigung der Kieferhöhlenventilation in einem verminderten Wachstum der Kieferhöhle resultiert.

Auch Fernandes schreibt 2004 (Fernandes 2004) in seiner Arbeit, dass eine gesunde Nasennebenhöhlenfunktion abhängig von Drainage und Ventilation ist und dass ein Verschluss der Nasennebenhöhlen zu einer Erkrankung führen kann. Sinuserkrankungen und die daraus resultierenden Obstruktionen können dann zu einem verminderten Volumen der Kieferhöhle führen.

Somit kann abschliessend ein Zusammenhang zwischen einem verringerten Durchmesser des Ostium naturale der Kieferhöhle und deren verminderten Volumen vermutet werden, aber um diese Zusammenhänge genauer zu beschreiben, bedarf es weiterer klinischer Untersuchungen.

6.7 Kieferhöhlenvolumen und Nasenseptumdeviation

Der Zusammenhang von Nasenseptumdeviation und deren Einfluss auf die umliegenden anatomischen Strukturen war Thema mehrerer Forschungsarbeiten, welche zu unterschiedlichen Resultaten kamen.

Ikeda (Ikeda 1996) kam mit seiner japanischen Studie zum Resultat, dass gesunde Studienteilnehmer ein statistisch signifikant grösseres Kieferhöhlenvolumen aufweisen als Studienteilnehmer, die an chronischer Sinusitis der Kieferhöhle litten. Auch konnte gezeigt werden, dass bei unilateraler Sinusitis maxillaris das Volumen auf der betroffenen Seite, im Vergleich zur Gegenseite, signifikant vermindert war.

Als mögliche Gründe für diese Zusammenhänge erwähnte Ikeda verschiedene Möglichkeiten:

- Einen möglichen Volumenrückgang aufgrund von entzündlichen Veränderungen im umliegenden Knochen;
- Kleine Kieferhöhlen haben die Tendenz, chronische Entzündungen zu entwickeln;

- Anatomische Variationen, welche das Infundibulum ethmoidale verengen und somit die Belüftung der Kieferhöhle reduzieren.

2 Jahre später fand Ikeda (Ikeda, Ikeda et al. 1998) in einer weiteren Studie heraus, dass chronische Entzündungen mit Beeinträchtigung der Kieferhöhlenventilation bei Kindern in einem verminderten Kieferhöhlenwachstum resultierten.

Elahi's Studie (Elahi and Frenkiel 2000) kam auch zum Schluss, dass Sinuserkrankungen mit Nasenseptumdeviationen assoziiert sind. Eine erhöhte Nasenseptumdeviation korrelierte mit einer erhöhten Inzidenz von Erkrankungen des osteomeatalen Komplexes und Sinuserkrankungen.

Yasan et al. (Yasan, Doğru et al. 2005) entdeckten in ihrer Arbeit keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der Gruppe mit Nasenseptumdeviation und der Kontrollgruppe in Bezug auf die Inzidenz einer chronischen Sinusitis maxillaris. Daraus zogen sie die Schlussfolgerung, dass kleine bis moderate Nasenseptumdeviationen keinen Risikofaktor für eine chronische Sinusitis darstellen, sondern nur eine starke Deviation des Nasenseptums als Risikofaktor für die Entwicklung von chronischer Sinusitis in Betracht kommt.

Firat et al. (Firat, Miman et al. 2006) untersuchten die Auswirkungen von Nasenseptumdeviationen auf das Ethmoidalzellvolumen und fanden dass das Ethmoidalzellvolumen mit dem Grad der Nasenseptumdeviation korrelierte, wobei die Seite der Septumdeviation (ipsilaterale Seite) mit einem kleineren Ethmoidalzellvolumen einherging. Als Begründung dafür wird in der Studie erwähnt, dass die nasalen Strukturen versuchen, die Luftmengen, welche die Nasenhöhle passieren, auszugleichen. Eine Nasenseptumdeviation gefährdet die nasale Aerodynamik und verringert den nasalen Luftstrom auf der konvexen Seite. Dieser unterschiedliche Luftstrom in den beiden Nasenhöhlen initiiert die Differenzierung der paraseptalen Strukturen. Volumenrückgänge auf der ipsilateralen (konvexen) Seite sind zu verzeichnen.

Boyce und Eccles (Boyce and Eccles 2006) verfassten 2006 eine systematische Übersichtsarbeit über die Effekte eines veränderten nasalen Luftstroms auf die Nase und auf die paranasalen Nebenhöhlen und kamen zu folgendem Schluss: obwohl die Rhinologieliteratur viele Referenzen und Hypothesen über den Zusammenhang von veränderter nasalen Luftströmung und der Entwicklung von Rhinosinusitis beinhaltet, gibt es

keine überzeugenden Gründe dafür, dass ein veränderter Luftstrom im Zusammenhang mit einer nasalen Septumdeviation oder anderen anatomischen Abnormalitäten ursächlich für Nasenpathologien ist.

Die oben erwähnten Studien geben Hinweise darauf, dass die durch eine Nasenseptumdeviation veränderte Aerodynamik in der Nase und in den Nasennebenhöhlen in einem Zusammenhang mit Nasenpathologien stehen könnten, aber bislang konnte noch kein kausaler Zusammenhang nachgewiesen werden.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass keine statistisch signifikanten Differenzen im Volumen der Kieferhöhle auf der konvexen und der konkaven Seite der Nasenseptumdeviation vorliegen. Es wäre aber sicherlich notwendig, dass diese Thematik in weiteren Studien untersucht wird, in welchen die Aussagekraft der Resultate unter anderem durch eine grössere Fallzahl und durch genaueres Messen des Nasenseptumdeviationswinkels (idealerweise digital mit Hilfe eines Computerprogramms) erhöht werden könnte.

6.8 Schlusswort

Im Rahmen dieser Arbeit zeigte sich, dass die Kieferhöhle sehr variabel ist und vielen Einflussfaktoren unterliegt. Bisherige Studien kamen zu unterschiedlichen Resultaten, was diese Tatsache unterstreicht und zeigt, dass zu dieser Thematik weitere Untersuchungen sinnvoll wären. Wichtig wäre vor allem, dass die zukünftigen Studien zur Thematik der Kieferhöhle umfangreiche Studienpopulationen untersuchen, um auch kleinere Unterschiede besser hervorheben zu können und somit eine grössere Aussagekraft hätten.

Ideal wäre eine Langzeitstudie mit regelmässiger DVT Datenerfassung und dreidimensionaler Volumenbestimmung des Sinus maxillaris an denselben Individuen, da Form und Grösse der Kieferhöhlen sehr variabel sind und somit diese interindividuellen Differenzen ausgeschlossen werden könnten. Eine solche Studie wäre aber mit einem sehr grossen Zeitaufwand verbunden und nur schwierig realisierbar, würde aber die Veränderungen der Kieferhöhle am besten darlegen können.

7. Literaturverzeichnis

1. Arijji, Y., E. Arijji, et al. (1996). "Computed tomographic indices for maxillary sinus size in comparison with the sinus volume." Dentomaxillofac Radiol **25**(1): 19-24.
- Arijji, Y., T. Kuroki, et al. (1994). "Age changes in the volume of the human maxillary sinus: a study using computed tomography." Dentomaxillofac Radiol **23**(3): 163-168.
- Bernhart, T., C. Ulm, et al. (1999). "[Tooth apex resection in the area of the maxillary sinus]." Schweiz Monatsschr Zahnmed **109**(9): 937-948.
- Boyce, J. and R. Eccles (2006). "Do chronic changes in nasal airflow have any physiological or pathological effect on the nose and paranasal sinuses? A systematic review." Clin Otolaryngol **31**(1): 15-19.
- Chanavaz, M. (1990). "Maxillary sinus: anatomy, physiology, surgery, and bone grafting related to implantology--eleven years of surgical experience (1979-1990)." J Oral Implantol **16**(3): 199-209.
- Cohnen, M., J. Kemper, et al. (2002). "Radiation dose in dental radiology." Eur Radiol **12**(3): 634-637.
- Dargaud, J., F. Cotton, et al. (2003). "[The maxillary sinus: evolution and function in aging]." Morphologie **87**(276): 17-22.
- Elahi, M. and S. Frenkiel (2000). "Septal deviation and chronic sinus disease." Am J Rhinol **14**(3): 175-179.
- Fernandes, C. (2004). "Forensic ethnic identification of crania: the role of the maxillary sinus--a new approach." Am J Forensic Med Pathol **25**(4): 302-313.
- Fernandes, C. (2004). "Volumetric analysis of maxillary sinuses of Zulu and European crania by helical, multislice computed tomography." J Laryngol Otol **118**(11): 877-881.
- Firat, A., M. Miman, et al. (2006). "Effect of nasal septal deviation on total ethmoid cell volume." J Laryngol Otol **120**(3): 200-204.
- Freisfeld, M., D. Drescher, et al. (1993). "[The maxillary sixth-year molar and its relation to the maxillary sinus. A comparative study between the panoramic tomogram and the computed tomogram]." Fortschr Kieferorthop **54**(5): 179-186.
- Gruber, H., P. Solar, et al. (1993). Anatomie und atrophiebedingte Veränderungen der Kieferknochen. Enossale Implantationen in der oralen Chirurgie. Watzek and G. Berlin, Quintessenz Verlags-GmbH: 55-64.
- Hauman, C., N. Chandler, et al. (2002). "Endodontic implications of the maxillary sinus: a review." Int Endod J **35**(2): 127-141.

- Ikeda, A. (1996). "[Volumetric measurement of the maxillary sinus by coronal CT scan]." Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho **99**(8): 1136-1143.
- Ikeda, A., M. Ikeda, et al. (1998). "A CT study of the course of growth of the maxillary sinus: normal subjects and subjects with chronic sinusitis." ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec **60**(3): 147-152.
- Johannes, L. (1988). Klinische Anatomie der Nase, Nasenhöhle und Nebenhöhlen Grundlagen für Diagnostik und Operation. Stuttgart, Georg Thime Verlag.
- Jun, B., S. Song, et al. (2005). "The analysis of maxillary sinus aeration according to aging process; volume assessment by 3-dimensional reconstruction by high-resolucional CT scanning." Otolaryngol Head Neck Surg **132**(3): 429-434.
- Killey, H. C. and L. W. Kay (1975). The maxillary sinus and its dental implications. Bristol, John Wright and Sons Ltd.
- Kim, H., H. Yoon, et al. (2003). "Personal-computer-based three-dimensional reconstruction and simulation of maxillary sinus." Surg Radiol Anat **24**(6): 393-399.
- Lang, J. (1988). Klinische Anatomie der Nase, Nasenhöhle und Nebenhöhlen Grundlagen für Diagnostik und Operation. Stuttgart, Georg Thime Verlag.
- Mozzo, P., C. Procacci, et al. (1998). "A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results." Eur Radiol **8**(9): 1558-1564.
- Schaeffer, Jacob, et al. (1910). The sinus maxillaris and its relations in the em-bryo, child and adult man., American Journal of Anatomy. **10**: 313–319.
- Sharan, A. and D. Madjar (2006). "Correlation between maxillary sinus floor topography and related root position of posterior teeth using panoramic and cross-sectional computed tomography imaging." Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod **102**(3): 375-381.
- Sharan, A. and D. Madjar (2008). "Maxillary sinus pneumatization following extractions: a radiographic study." Int J Oral Maxillofac Implants **23**(1): 48-56.
- Smiler, D., P. Johnson, et al. (1992). "Sinus lift grafts and endosseous implants. Treatment of the atrophic posterior maxilla." Dent Clin North Am **36**(1): 151-186; discussion 187-158.
- Solar, P., G. Aro, et al. (1998). "[The effects of tooth loss on the anatomy of the maxilla]." Schweiz Monatsschr Zahnmed **108**(9): 871-878.
- Teke, H., S. Duran, et al. (2007). "Determination of gender by measuring the size of the maxillary sinuses in computerized tomography scans." Surg Radiol Anat **29**(1): 9-13.
- Testori, T., M. Del Fabbro, et al. (2009). Maxillary Sinus Surgery and alternatives in treatment. Landshut/Ergolding, Quintessence Publishing Co. Ltd.

- Uchida, Y., M. Goto, et al. (1998). "A cadaveric study of maxillary sinus size as an aid in bone grafting of the maxillary sinus floor." J Oral Maxillofac Surg **56**(10): 1158-1163.
- Uchida, Y., M. Goto, et al. (1998). "Measurement of maxillary sinus volume using computerized tomographic images." Int J Oral Maxillofac Implants **13**(6): 811-818.
- Ulm, C., P. Solar, et al. (1995). "The edentulous maxillary alveolar process in the region of the maxillary sinus--a study of physical dimension." Int J Oral Maxillofac Surg **24**(4): 279-282.
- Watzek, G. and M. Matejka (1986). Erkrankungen der Kieferhöhle. Wien, Springer-Verlag/Wien.
- Yasan, H., H. Doğru, et al. (2005). "What is the relationship between chronic sinus disease and isolated nasal septal deviation?" Otolaryngol Head Neck Surg **133**(2): 190-193.
- Ziegler, C., R. Woertche, et al. (2002). "Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery." Dentomaxillofac Radiol **31**(2): 126-130.

7.1 Anmerkung

Diese Dissertation wurde unter Einwilligung und Aufsicht von Dr. Dr. Michael Locher in enger Zusammenarbeit mit der Dissertantin Anja Steingruber erarbeitet, welche ihre Dissertation zum Thema mit dem Titel „Die Kieferhöhle im DVT: Ergebnisse von Knochendickenmessungen in Bezug auf Alter und Geschlecht Eine retrospektive Studie“ verfasste.

8. Verdankungen

Ich möchte allen Personen, die meine Arbeit an dieser Dissertation ermöglicht und unterstützt haben, herzlich danken. Insbesondere danke ich meinem Betreuer Herr KD Dr. med, Dr. med. dent M. Locher für die Unterstützung während der Arbeit und die Durchsicht der Dissertation, Frau A. Steingruber für die enge Zusammenarbeit während der Arbeit an unseren Dissertationen, Herr PD Dr. med., Dr. med. dent. H. T. Lübbers für die fachkundige Betreuung im Themenbereich der Bildgebung und Datenauswertung mit Hilfe der iPlan ENT Software, der ganzen Abteilung der chirurgischen Poliklinik des ZZM, Frau Dr. M. Roos für ihre kompetente Hilfe mit der statistischen Auswertung der Daten und Frau H. Eschle für ihre tatenkräftige Unterstützung bei der Literatursuche. Grosser Dank gilt auch meiner Familie für ihre Unterstützung während der Arbeit, insbesondere meinem Vater, welcher keinen Aufwand gescheut hat meine Dissertation mit mir durchzuarbeiten. Herzlichen Dank spreche ich auch Prof Dr.Dr.Klaus W. Grätz für die Durchsicht dieser Arbeit aus.

